

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Využití systému strojového vidění pro polohování objektu

Usage of a Vision System for Object Positioning

Student: Bc. Ondřej Petrtýl

Vedoucí práce: Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Datum odevzdání práce: 15.5.2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Petrtýl**

Studijní program: **N3943 Mechatronika**

Studijní obor: **3906T006 Mechatronické systémy**

Téma: **Využití systému strojového vidění pro polohování objektu**
Usage of a Vision System for Object Positioning

Zásady pro vypracování:

1. Popište možnosti M-funkcí a komponent určených pro rozpoznávání obrazu (strojové vidění) systému MATLAB a Control Web 6.
2. Vytvořte návrh laboratorního modelu třídící linky a specifikujte technické prostředky pro realizaci tohoto modelu.
3. Vyberte vhodný řídicí systém a s použitím nástrojů pro tento systém vytvořte řídicí algoritmy, které budou realizovat vlastní třídění s využitím mechanismu rozpoznávání obrazu.
4. Podrobně zdokumentujte tento návrh jak z pohledu technických, tak programových prostředků.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhnete postup dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

BÍLÝ, R., CAGAŠ, P. & AJ. 1999. *Control Web 2000. Průvodce systémem pro tvorbu a nasazení aplikací reálného času*. 1. vydání. Praha: Computer Press, 1999. 382 s. ISBN 80-7226-258-0.

BOYER, S. A. 1999. *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition*, 2nd Edition. New York (USA): ISA, 1999. 215 p. ISBN 1-55617-660-0.

Diplomové práce realizované na katedře 352 v letech 2008 – 2011.

VLACH, J. *Počítačová rozhraní, přenos dat a řídicí systémy*. Praha, BEN-technická literatura, 1997, ISBN 80-85940-17-4.

WHITT, M. D. 2003. *Successful Instrumentation and Control Systems Design*. New York (USA): ISA, 2003. 360 p. ISBN 1-55617-844-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013

prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Noskiewič, CSc.
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 15.5.2013

.....
Bc. Ondřej Petrtýl

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB–TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB–TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB–TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15.5.2013

.....

Bc. Ondřej Petrtýl

Jméno a přímení autora práce:

Bc. Ondřej Petrtýl

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Klokočov 56, Vítkov 3, 747 47

Anotace diplomové práce

PETRTÝL, O. *Využití systému strojového vidění pro polohování objektu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, Katedra automatizační techniky a řízení (Fakulta strojní), 2013, 55 s. Vedoucí práce: ŠKUTA, J.

Diplomová práce se zabývá využitím strojového vidění k rozpoznání polohy a identifikaci objektu. Polohování objektu je realizováno laboratorním modelem třídící linky, která se sestává ze zásobníku dílů k inspekci a roztříděných dílů, manipulačních ramen a manipulační plošiny. Jako akční členy jsou použity krokové motorky, stejnosměrné motorky a elektromagnetické cívký. Pro výkonové zesílení akčních členů jsou navrženy a vyrobeny výkonové moduly. Zpětná vazba polohy je získávána z dvoupolohových spínačů. Řídicím systémem je kompaktní PLC firmy Siemens. V PLC se vykonávají algoritmy řídicí cyklus třídění z hlediska ovládání mechanických částí linky. Snímání obrazu vykonává webkamera a inspekce je prováděna v programu MATLAB Simulink. Přenos dat mezi PLC a PC je realizován pomocí OPC komunikace.

Klíčová slova

Strojové vidění, MATLAB, PLC SIEMENS, OPC, krokový motor

Annotation of Master Thesis

PETRTÝL, O. Usage of a Vision System for Object Positioning: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University Ostrava, University Study Programmes, Department of Control Systems and Instrumentation (Faculty of Mechanical Engineering) 2013, 55 p. Thesis head: ŠKUTA, J.

This master thesis is dealing with machine vision for the recognition and identification of objects. Manipulation is done with a laboratory model of a sorting line, which contains a buffer for objects for inspection and a buffer for inspected objects, manipulation arms and a manipulation platform. As actuators there are used stepper motors, DC motors and electromagnetic coils. Printed circuits are designed and made for power. Feedback is acquired by two-position switches. The main control unit is compact PLC SIEMENS. PLC controls hardware parts of the sorting cycle. Image capturing is done with a web camera and an algorithm for image processing is run in MATLAB Simulink. Data between PLC and PC are changed via OPC communication.

Key words

Machine Vision, MATLAB, PLC SIEMENS, OPC, Stepper Motor

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jaromíru Škutovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a vstřícný přístup při konzultacích.

Také bych rád poděkoval panu Vladimíru Starému, za praktické rady a vysokou profesionalitu při výrobě dílů a konstrukci hardwaru.

V neposlední řadě patří velké díky mé rodině a blízkým, kteří mě podporovali a vycházeli mi maximálně vstříc nejen při zpracovávání diplomové práce ale i po dobu celého studia.

Obsah

Úvod.....	12
1 Strojové vidění	13
1.1 Hardware pro strojové vidění.....	13
1.1.1 Osvětlovací prvky.....	13
1.1.2 Snímací prvky.....	14
1.1.3 Optika snímacího prvku	14
1.1.4 Kamerové systémy	15
1.2 Programové prostředí Control Web	15
1.2.1 Rozhraní pro zpracování obrazu VisionLab.....	16
1.2.2 Detekce kruhů pomocí implementované funkce	16
1.3 Programovací prostředí MATLAB	18
1.3.1 Image Processing Toolbox	19
1.3.2 M–funkce využívané při zpracování obrazu	19
1.3.3 Matematický popis základních operací při zpracování obrazu	20
2 Model třídící linky	25
2.1 Blokové schéma úlohy	25
2.2 Návrh laboratorního modelu	26
2.3 Princip činnosti třídící linky.....	27
2.4 Komponenty třídící linky	28
3 Software	31
3.1 Simulační prostředí MATLAB Simulink.....	31
3.1.1 Image Acquisition Toolbox.....	31
3.1.2 Computer Vision System Toolbox	31
3.2 Zpracování obrazu v programu MATLAB Simulink.....	32
3.3 Programovací prostředí Step 7 pro PLC	33
3.4 Popis řídicího algoritmu.....	35

3.5	Přenos dat pomocí OPC komunikace.....	40
3.5.1	MATLAB OPC Toolbox.....	40
3.5.2	Realizace OPC komunikace	40
4	Hardware.....	42
4.1	Výkonové moduly pro třídící linku.....	42
4.1.1	Modul pro převod napájecího napětí a spínání efektorů a osvětlení	42
4.1.2	Modul pro řízení stejnosměrných motorků	43
4.1.3	Modul s proud. omezením, demultiplexací krokových motorků, rotací fází	44
4.1.4	Modul pro převod napětí s a spínání fází krokových motorků.....	45
4.2	Rozhraní výkonového modulu	47
4.3	Schéma realizované úlohy.....	48
4.4	Finální podoba laboratorního modelu	49
5	Závěr	51
6	Literatura	53
7	Seznam příloh	55

Seznam použitých zkratk, značek a symbolů

AI	Analogue Input – analogový vstup
AO	Analogue Output – analogový výstup
CCD	Charge Couple Device – čip pro snímání obrazu
CMOS	Complementary Metal–Oxide Semiconductor – čip pro snímání obrazu
CPU	Central Processor Unit – procesorová jednotka
CW	Control Web – vývojové prostředí
D	Dioda – elektronická součástka
DB	Data Block – datový blok v prostředí Step7
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
DC1, DC2	Stejnosměrné motorky třídící linky
DFT	Discreet FT – diskrétní Fourierova transformace
DI	Digital Input – digitální (binární) vstup
DO	Digital Output – digitální (binární) výstup
DPS	Deska Plošných Spojů
E1, E2	Efektory třídící linky (elektromagnetická cívka)
FB	Function Block – funkční blok v prostředí Step7
FBD	Function Block Diagram – Diagram funkčních bloků – programovací jazyk
FC	Function – funkce v prostředí Step7
FFT	Fast FT – rychlá Fourierova transformace
FT	Fourierova Transformace
HP	High Pass – hornofrekvenční (filtr)
HW	HardWare
I	Označení binárního vstupu – SIEMENS
I/O	Input/Output – vstup/výstup
IDFT	Inverse DFT –inverzní diskrétní Fourierova transformace
IL	Instruction List – Seznam instrukcí – programovací jazyk
K	Kamera
KM (KM1,2,3)	Krokový Motorek
LAD	Ladder Diagram – Příčkový diagram – programovací jazyk
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Optický zdroj elektromagnetického záření
LED	Light–Emitting Diode – dioda emitující světlo
LP	Low Pass – dolnofrekvenční (filtr)
MP	Manipulační Plošina

MPI	Komunikační sběrnice pro PLC
NPN	Typ tranzistoru
OB	Organization Block – organizační blok v prostředí Step7
OPC	OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control – komunikační protokol
Prg	Programátor pro PLC
P_D	Dolní Poloha manipulačního ramene
P_H	Horní Poloha manipulačního ramene
PC	Personal Computer – osobní počítač (notebook)
PIW	Označení analogového vstupu – SIEMENS
PLC	Programmable Logic Controller – Programovatelný logický automat
PNP	Typ tranzistoru
PQW	Označení analogového výstupu – SIEMENS
Q	Označení binárního výstupu – SIEMENS
R1, R2	Rameno třídící linky
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition – komplexní vizualizační systémy, počítačová vizualizační pracoviště
SFB	System Function Block – Systémové funkční bloky v programu Step7
SFC	Sequention Function Chart – Sekvenční funkční graf – programovací jazyk
SFC	Systém Function – systémová funkce v prostředí Step7
ST	Structured Text – Strukturovaný text – programovací jazyk
Step7	Programovací prostředí pro PLC firmy SIEMENS
SW	SoftWare
T1, T2, ...	Tranzistor – elektronická součástka
TIA	Totally Integrated Automation – komplexní prostředí pro programování PLC, testování a vizualizaci firmy SIEMENS
TL	Třídící Linka
TQC	Total Quality Control – totální kontrola
USB	Universal Serial Bus – komunikační sběrnice
UV	Ultra Violin – ultrafialové záření
VDC	Voltage DC – stejnosměrné napětí
VL	VisionLab – komponenta pro rozpoznávání obrazu v prostředí CW
Zdr	Laboratorní zdroj napětí
Z1, Z2	Zásobníky třídící linky

Úvod

Strojové vidění (Machine Vision) je využití počítačového vidění (Computer Vision) v průmyslové automatizaci, obnáší tedy nejen získávání potřebných informací z obrazu, ale také jejich předávání jiným automatizovaným zařízením zapojených v daném procesu.

V současnosti je kladen vysoký důraz na inspekci každého vyrobeného kusu tzv. totální kontrola – TQC (Total Quality Control). V tomto případě prochází každý jednotlivý kus inspekci, což je při nasazení člověka jako kontrolního mechanismu velice náročné. Člověk se rychle unaví, dochází ke ztrátě koncentrace a následnému nárůstu chybovosti kontroly. Proto se hlavně při velkých sériích uplatňuje kontrola s využitím strojového vidění.

Obsahem této práce je využití strojového vidění pro polohování objektu a identifikaci objektu, což je realizováno jako součást laboratorního modelu třídící (kontrolní, inspekční) linky. Třídící linka využívá řídicí systém, který vykonává logiku celého procesu, tedy stará se o pohon všech motorků a řídí spínání jednotlivých prvků. Do řídicího systému také vstupují signály z koncových spínačů a senzorů polohy. Inspekce zkoumaného objektu je pak vykonávána systémem pro zpracování obrazu.

1 Strojové vidění

Nasazení strojového vidění vede ke zvýšení kvality výroby, což vede ke snížení provozních nákladů. Výhodami je rychlost vyhodnocení oproti mechanickému měření, bezkontaktnost se zkoumaným objektem, automatická komunikace s periferiemi, nadřazenými i podřazenými systémy, univerzálnost a flexibilita inspekčního programu pro různé aplikace. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, které se v dlouhodobém měřítku spolehlivě vrátí. S rozvojem výpočetní techniky, hlavně výpočetního výkonu výpočetních a grafických procesorů, je již možno zpracovávat velké objemy dat v reálném čase.

Dnes je strojové vidění nasazováno hlavně při čtení a verifikaci kódů (identifikace a kontrola při expedici), kontrole sestavení a montáže (kontrola přítomnosti veškerých dílů a jejich polohy), kontrole úplnosti a zabalení (kontrola správnosti a úplnosti objektů v obalech či počtu prvků na paletě), rozpoznávání polohy (aplikace pick & place), identifikaci barev (kontrola nátěrů a čerstvosti potravin), kontrole povrchů a potisků (vady nátěrů, poškození hran, kontrola etiket a obalů), čtení textů, nalezení vad opracování (nedokonalosti výlisků, otřepy, napájení elektronických součástek), měření a kontrole tolerancí a cejchování měřidel. [7] [18]

1.1 Hardware pro strojové vidění

Rychlost a hlavně kvalita zpracování obrazu nezáleží jen na výpočetní rychlosti procesorů a grafických čipů, ale také na okolních podmínkách a volbě správného HW pro danou úlohu. Volbou správného HW můžeme minimalizovat chyby vzniklé při snímání obrazu a rapidně tak snížit náročnost výpočtů při předzpracování obrazu.

1.1.1 Osvětlovací prvky

Osvětlení je velice důležitým prvkem celého systému strojového vidění a je třeba jeho výběru věnovat náležitou pozornost. Úkolem je zvýšit kontrast zkoumaného objektu tak, aby byla co nejmenší potřeba aplikací SW filtrů a úprav obrazu, tzv. preprocessing – předzpracování. Při výběru je důležité, zda je zkoumaný obraz statický či dynamický

a také vlastnosti povrchu jako odrazivost a absorpce světla, struktura povrchu či barva objektu.

Dnes jsou převážně využívány – Fluorescenční zdroje (vhodné pro rozpoznávání barev, snadno tvarovatelné trubice plněné různými plyny s malou životností), Halogenové zdroje (dlouhá životnost, odolnost proti vibracím, špatná dynamika spínání), LASER (monochromatický a koherentní zdroj světla), Xenonové zdroje (extrémní svítivost, záblesky s frekvencí až 1000 Hz), LED (životnost až 100 000 hodin, monochromatické světlo, nízká energetická náročnost, malá spotřeba), Infračervené zdroje (prochází plasty, prosvětlování desek plošných spojů, Ultrafialové zdroje (v průmyslu rozšířené, nylon pod UV světlem fosforeskuje).

1.1.2 Snímací prvky

Snímací prvky převádí snímaný obraz tvořený proudem fotonů na ně dopadajících na digitální signál. Dnes jsou nejrozšířenější CCD a CMOS prvky. Senzory snímají pouze intenzitu světla nikoli barvu, proto je potřeba pro zachycení barevného obrazu užití filtrů propouštějících pouze zelené, červené či modré světlo a analyzovat každou barvu zvlášť. Na základě těchto výsledků se pak pro danou oblast přiřadí RGB hodnota barvy.

CCD – (Charge Couple Device) proud fotonů dopadající na snímač generuje elektrony vytvářející elektrický náboj, který je postupně vyčítán posuvným registrem. Nevýhodou je šum vznikající parazitním spodním nábojem. [7]

CMOS – (Complementary Metal–Oxide Semiconductor) převádí proud fotonů na elektrické napětí přímo na každém pixelu. Můžeme vyčítat pouze některé pixely, což vede ke zvýšení rychlosti zpracování. Je také odolnější proti šumu a díky jednodušší výrobě také levnější. [7]

1.1.3 Optika snímacího prvku

Slouží k usměrnění světelného toku od snímané oblasti do snímacího prvku. Při volbě vhodné optiky posuzujeme velikost zorného pole (ohnisková vzdálenost), rozlišení (to musí být dvakrát větší než je požadovaná přesnost), ostrost obrazu, pracovní vzdálenost. Důležitý parametr také je, zda je čočka telocentrická (obraz bez perspektivy, vidíme tedy “půdorys”) či perspektivní (stejný obraz jako vidíme lidským okem). Využívají se také různé filtry pro odstranění parazitních vlivů, jako odlesky, jiné vlnové délky světla.

1.1.4 Kamerové systémy

Kamerové systémy se liší podle uspořádání jednotlivých prvků a použitým typem kamer do následujících kategorií:

Kamerové senzory – kde je osvětlení, kamera, procesor i komunikační rozhraní v jednom pouzdře. Uplatnění pro jednodušší aplikace.

Inteligentní kamery – kompaktní provedení (jako kamerové senzory) vhodné pro průmyslové využití. Pouzdro může mít vysoký stupeň krytí, ochranu proti radiaci či vysokým teplotám. Tyto kamery dokáží provést kompletní inspekci daného obrazu, mají však omezenou kapacitu paměti a komunikační možnosti.

PC systémy – vyznačují se vysokou modularitou, tedy možností použití různých kamer a periférií. Nevýhodou je transport dat na velkou vzdálenost, protože PC není stavěno na provoz ve výrobních podmínkách.

Kompaktní systémy – podobné jako PC systémy, je však využito průmyslového počítače. Většinou kompletně dodáváno jedním výrobcem, což zajišťuje kompatibilitu prvků.

Embedded systémy – jsou kompaktní systémy s vysokým výkonem. Jedná se o více jádrové procesory umožňující snímání až 120ti snímků za sekundu. Považujeme je již za RT systémy.

Zákaznické systémy – speciálně navrhnutý dle požadavků zákazníka, jedinečné, velmi drahé. [18]

1.2 Programové prostředí Control Web

Control Web je programovým systémem, který dokáže vystupovat v mnoha rolích. Může pracovat v řídicích jednotkách strojů, může spojovat výrobní technologii s informačním systémem podniku, může být datovým serverem s mnoha webovými klienty, může modelovat a simulovat procesy, dokáže vytvářet náročné vizualizace a mnoho dalšího. Control Web bezesbytku řeší veškerou funkčnost SCADA systémů. V řadě případů dokáže malý a levný průmyslový počítač nahradit kombinací PLC

a počítače pro operátorské řízení. Zde je pak výhoda jednoho programového prostředí pro komplexní vývoj aplikací. [16]

1.2.1 Rozhraní pro zpracování obrazu VisionLab

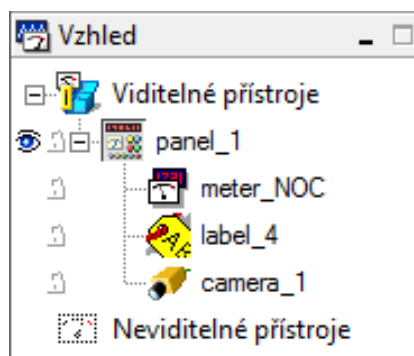
VisionLab je bohatě vybaveným programovým systémem pro strojové vidění, který je komponentou CW a přináší:

- snadnou integraci digitálních obrazů a vizuální inspekce do průmyslové automatizace
- intuitivní editaci kroků řetězce strojového vidění
- podporu plně paralelního zpracování na více jádrech a více procesorech
- podporu masivně paralelního zpracování obrazu grafickým procesorem
- pokročilé úpravy obrazu prováděné grafickým procesorem
- přenos obrazových dat v počítačových sítích
- archivaci obrazových dat v podobě snímků i videosouborů
- otevřené rozhraní pro doplňování kroků strojového vidění
- sdílení dat s aplikacemi systému *Control Web*. [17]

1.2.2 Detekce kruhů pomocí implementované funkce

VisionLab je uveden jako alternativa k programu MATLAB s nástrojovou sadou Image Processing Toolbox, proto je v rámci této kapitoly uvedena výrobcem již připravená demonstrační úloha s využitím funkce `circle_detection_by_threshold`, na které lze pochopit základní principy tohoto SW.

Jak ukazuje Obrázek 1.1, pracovní plocha se skládá ze základního okna (*panel*), obrazovky (*camera*), popisového pole (*label*) a číselného displeje (*meter*).



Obrázek 1.1 Prvky vizualizace

Zdroj obrazu můžeme volit několika způsoby. V demonstrační úloze je použita sekce předem vytvořených obrázků jako zdroj dat pro analýzu. Jako zdroj dat je v této ukázce využívána web kamera a snímán byl papír s několika předměty (Obrázek 1.2).

camera_type	WMD_camera
camera_name	'iSlim 300X'

Obrázek 1.2 Nastavení zdroje dat pro úlohu

V záložce step, která určuje, které kroky se při zpracování budou vykonávat, volíme následující. Zpracování *circle_detection_by_threshold*, což je integrovaná funkce pro rozpoznání kružnic, jejich rozměru a pozice. *Input* je nastaven na 50 vodorovných a 50 svislých detekčních čar, práh 0,7 a kvalita kružnice 0,5. Výstupy z funkce *circle_detection_by_threshold* jsou *NoOfCircles*, kterou aktivně zobrazujeme.

image_processing	
Fáze	
init_data	
steps	
Krok	Typ
step	circle_detection_by_threshold
Parametr	Hodnota
condition	true
input	source, , 50, 50, 0.7, 0.5, false, true
output	NoOfCircles, circle_detection_by_threshold_0_ring_2, kvalita
result	

Obrázek 1.3 Nastavení parametru steps

Jako výstupy ze zpracování je nastaveno *NumberOfCircles*, pocházející z parametru *NoOfCircles*.

output_data	
Výstup	Jméno
number	NoOfCircles
Parametr	Hodnota
value	NumberOfCircles

Obrázek 1.4 Nastavení výstupů

NumberOfCircles je číselná hodnota, která je definována jako globální skalární proměnná aktivně zobrazována pomocí procedury *OnImage()*.

```

procedure OnImage();
begin
    core.DebugOutput( 'action: ', NumberOfCircles );
    meter_NOC.SetValue( NumberOfCircles );
end_procedure;

```

Obrázek 1.5 Ukázka procedury OnImage()

Na následujícím obrázku (Obrázek 1.6) je vidět reálný výstup z aplikace. Tedy obraz z kamery s detekovanými kružnicemi a číselnými údaji, které udávají průměr a pozici daného kruhu. Jak je patrné, tak tato metoda při tomto nastavení rozeznává pouze tmavé plné kruhy na světlém pozadí (nakreslené, objektiv mobilu), nerozpozná ale opačné vybarvení (izolepa – pouze tmavý okraj či bílý kruh v tmavém poli).



Obrázek 1.6 Výsledná vizualizace

Hlavní výhodou CW VL je dosažitelná rychlost zpracování obrazu, která je RT. Jako nevýhodu vnímám, že ač obrazovka zobrazuje pozici jednotlivých kruhů, nenašel jsem způsob, jak tuto informaci dostat jako výstupní parametr a tím pádem ji aktivně využívat k určování polohy.

1.3 Programovací prostředí MATLAB

MATLAB využívá programovací jazyk vyšší úrovně a interaktivní prostředí pro numerické výpočty, vizualizaci a programování. Pomocí programu MATLAB můžeme

analyzovat data, vyvíjet algoritmy či vytvářet modely a aplikace. Programovací jazyk, nástroje a vestavěné matematické funkce umožňují prozkoumat více přístupů a dospět k řešení rychleji, než u tradičních programovacích jazyků.

MATLAB můžeme použít pro řadu aplikací jako zpracování signálů a obrazu, vývoj řídicích systémů, testování a měření, výpočty v ekonomii či biologii. [10]

1.3.1 Image Processing Toolbox

Image Processing Toolbox poskytuje komplexní sadu standardních algoritmů, funkcí a aplikací pro zpracování obrazu, analýzy, vizualizace a vývoj algoritmů. Umožňuje předzpracování zkoumaného obrazu, korekce rozmazání, detekce hran, redukce šumu, segmentace obrazu, geometrické transformace, úpravu jasu a kontrastu, tvorbu histogramů. Mnoho nástrojů podporuje multithreading a umožňují využití potenciálu více jádrových a víceprocesorových počítačů. [10]

1.3.2 M–funkce využívané při zpracování obrazu

Následující odstavec představuje nejdůležitější M–funkce použité při zpracování obrazu v rámci řešení diplomové práce. Veškeré funkce pro zpracování obrazu byly nejprve realizovány pomocí přepisu matematických funkcí, následně bylo využito funkcí Image Processing Toolboxu a bylo provedeno jejich vzájemné porovnání

Přehled použitých funkcí:

iminfo	informace o obrazovém souboru
x.Width	načtení hodnoty šířky obrazu
x.Height	načtení hodnoty výšky obrazu
x.BitDepth	načtení hodnoty bitové hloubky obrazu (stupně šedi – 256)
imread	načtení obrazu ze souboru
imshow	zobrazení obrazu
imwrite	zapsání obrazu do souboru
im2bw	převod obrazu do binárního (černobílého) formátu
im2double	převod obrazu do formátu <i>double</i>
rgb2gray	převod obrazu z RGB do stupňů šedi

double	převod na formát <i>double</i>
zeros	naplnění matice nulami
exp	založení Eulerova čísla <i>e</i>
figure	vykreslení grafu
subplot	dílčí graf (v rámci <i>figure</i>)
mesh	3D graf
title	název grafu
xlabel	popis osy x daného grafu
ylabel	popis osy y daného grafu [11]

1.3.3 Matematický popis základních operací při zpracování obrazu

V této části je proveden teoretický rozbor základních operací využívaných při zpracování obrazu. Obraz je reprezentován maticemi, kdy každý prvek matice nabývá hodnoty odpovídající úrovni intenzity (v našem případě pro 8 bit – 256 úrovní intenzity). Všechny obrazy jsou uvažovány jako jednorozměrná matice, tedy obraz ve stupních šedi. Pro barevný RGB obraz by se jednalo o třídímní matici $M \times N \times 3$, tedy o tři za sebou řazené matice, pro každou barvu jedna matice. [6]

Histogram

Histogram (Obrázek 1.7) je odhad pravděpodobnosti výskytu úrovně intenzity r_k ve zkoumaném obrázku. Zobrazuje tedy, kolikrát se ve zkoumaném obraze vyskytuje pixel s danou hodnotou intenzity.

$$p(r_k) = \frac{n_k}{MN} \quad \text{pro } k = 1, 2, \dots, L-1, \quad (1.1)$$

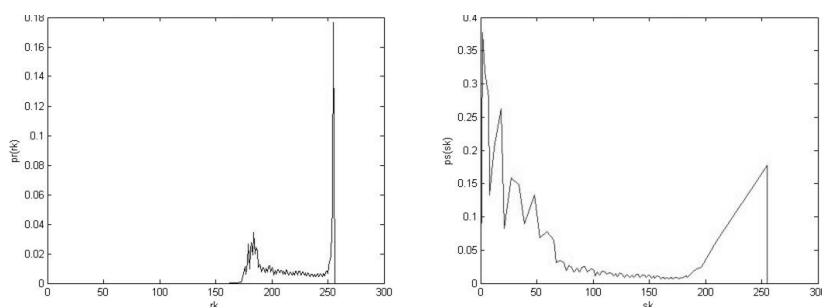
kde je n_k – počet pixelů majících intenzitu r_k , L – počet možných úrovní intenzity (např. 256 pro 8 bitový obraz), M , N – rozměr zkoumané matice.

Ekvalizace histogramu

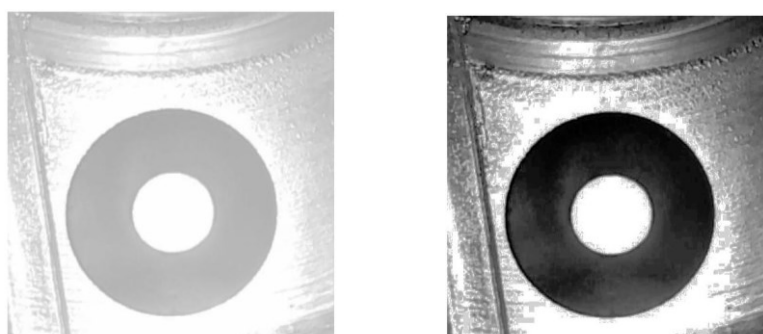
Při ekvalizaci histogramu se snažíme o vyvážení daného obrazu aplikací následující transformace

$$s_k = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad \text{pro } k = 1, 2, \dots, L-1. \quad (1.2)$$

Ekvalizace se pokouší vyrovnat rozložení histogramu (Obrázek 1.7) a tím vede ke zlepšení kontrastu. Výsledek této operace je patrný z uvedeného příkladu (Obrázek 1.8).



Obrázek 1.7 Graf histogramu (vlevo) a ekvalizovaného histogramu (vpravo)



Obrázek 1.8 Původní obrázek (vlevo) a obrázek upravený ekvalizací (vpravo)

2D Diskrétní Fourierova transformace

Užitím této funkce komplexní exponenciály získáme přechod z původní obrazové formy na frekvenční spektrum obrazu.

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}, \quad (1.3)$$

kde $f(x, y)$ je původní obraz.

Inverzní 2D Diskrétní Fourierova transformace

Užitím této funkce získáme úroveň intenzity pro daný obrázek. Jedná se tedy o převod z frekvenčního spektra zpět do klasického zobrazení.

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (1.4)$$



Obrázek 1.9 Original (vlevo), 2D diskrétní FT (uprostřed), 2D Inverzní DFT (vpravo)

Filtrace obrázků pomocí frekvenčních filtrů

Filtrace pomocí frekvenčních filtrů je založena na modifikované FT. Obraz je nejdříve přeložen do frekvenčního spektra, poté korelován s příslušným filtrem a poté znovu převeden do původního spektra zobrazujícího úroveň intenzity. Mějme obrázek $f(x, y)$ o rozměrech $M \times N$ a základní filtrační rovnici

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}[H(u, v)F(u, v)], \quad (1.5)$$

kde je \mathfrak{F}^{-1} – operace IDFT, $F(u, v)$ – DFT vstupního obrazu $f(x, y)$, $H(u, v)$ – je filtrační funkce.

Smoothing (rozostření)– Ideální Lowpass filtr

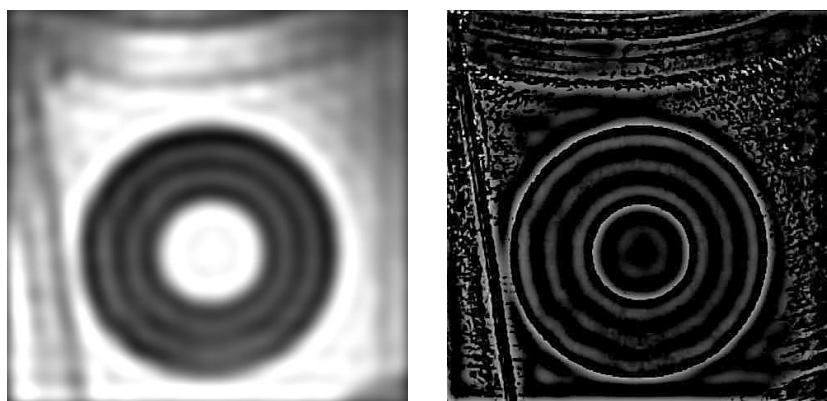
Filtrace pomocí filtru s dvěma úrovněmi, jejichž rozhraním je centrovaná kružnice o poloměru D_0 . Uvnitř je nastavena hodnota jedna pro nízké frekvence a okolí je rovno nule pro eliminaci vyšších frekvencí. D je hodnota vzdálenosti od středu pro daný bod.

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (1.6)$$

Sharpening (detekce hran) – Ideální Highpass filtr

Filtrace pomocí filtru s dvěma úrovněmi, jejichž rozhraním je opět centrovaná kružnice o poloměru D_0 . Uvnitř je nastavena hodnota nula pro odstranění nízkých frekvencí ve výsledném spektru a okolí je rovno jedné.

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (1.7)$$



Obrázek 1.10 Výsledky operace Smoothing (vlevo) a Sharpening (vpravo)

Korelace

Kterýkoliv pixel (x, y) na obrázku, odpovídá funkci $g(x, y)$. Princip ukazuje součet součinů filtračních koeficientů a pixelů daného obrázku s maskou $m \times n$ předpokládáme

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t), \quad (1.8)$$

kde je $w(s, t)$ funkce originálního obrazu.

S maskou $m \times n$ předpokládáme, že $m = 2a + 1$ a $n = 2b + 1$.

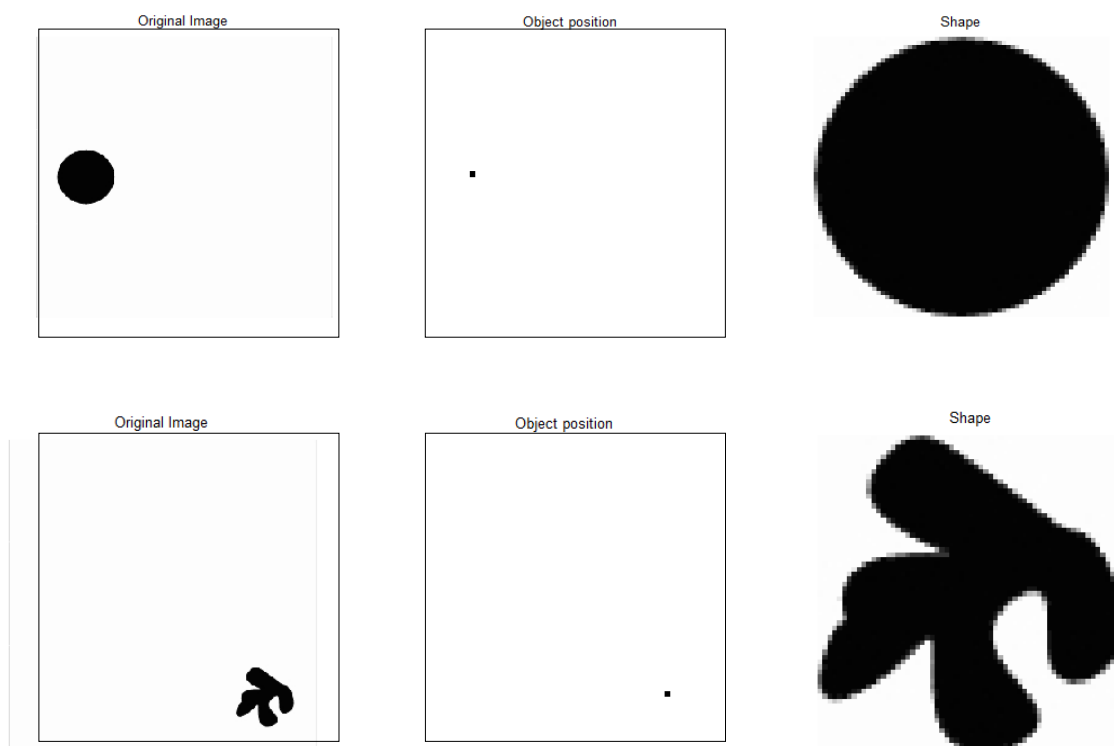
Základní detekce obrazu pomocí korelace

Vyhledávání obrazu probíhá obdobným způsobem jako filtrace pomocí prostorové masky, vyhodnocení polohy probíhá pomocí přenásobení zkoumaného obrazu se vzorem a následného nalezení nejvyšší shody zkoumaného obrazu s referenčním obrazem, která se projeví maximální hodnotou na daném pixelu.

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t). \quad (1.9)$$

Před korelací jsou oba obrazy podrobeny HP filtraci pro efekt detekce hran, korelace poté vykazuje lepší výsledky. Následuje aplikace korelace, kdy se výsledek násobení obou matic uloží do středového pixelu (matice o velikosti vzorového obrazce). Závěrem je ve výsledném obrazu (matici) vyhledán pixel s nejvyšší hodnotou, což je pixel, který je středem vzorového obrazce.

Pro ukázkou jsem si připravil obrazec s devíti polohami a třemi různými tvary (kruh, trojúhelník a náhodný tvar).



Obrázek 1.11 Výsledky korelace z MATLABu, původní obrázek (vlevo), nalezení polohy (uprostřed) a detekce tvaru (vpravo)

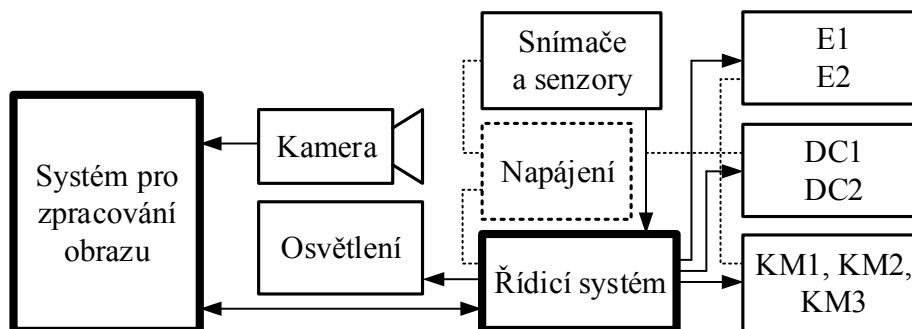
2 Model třídící linky

V této kapitole bude na blokovém schématu vysvětlena hlavní myšlenka konstrukce třídící linky, bude popsán návrh laboratorního modelu a uveden přehled důležitých komponent a jejich parametry.

2.1 Blokové schéma úlohy

Jak je patrné z blokového schématu (Obrázek 2.12), tak úloha obsahuje řídicí systém, který vykonává logiku celého procesu třídění, tedy stará se o pohon všech motorků (KM1, KM2, KM3, DC1, DC2) a také řízení efektorů (E1, E2). Do řídicího systému také vstupují signály ze senzorů a snímačů polohy.

Řídicí systém nejdříve provede sekvenci přesunu zkoumaného objektu ze zásobníků dílů k inspekci na pozici určenou pro zpracování obrazu, následně vyše požadavek na zpracování obrazu. V systému pro zpracování obrazu dojde k analýze obrazu a odeslání informací o zkoumaném objektu do řídicího systému, ten vyhodnotí informace a provede sekvenci přesunu objektu do příslušné části zásobníku roztríděných dílů.

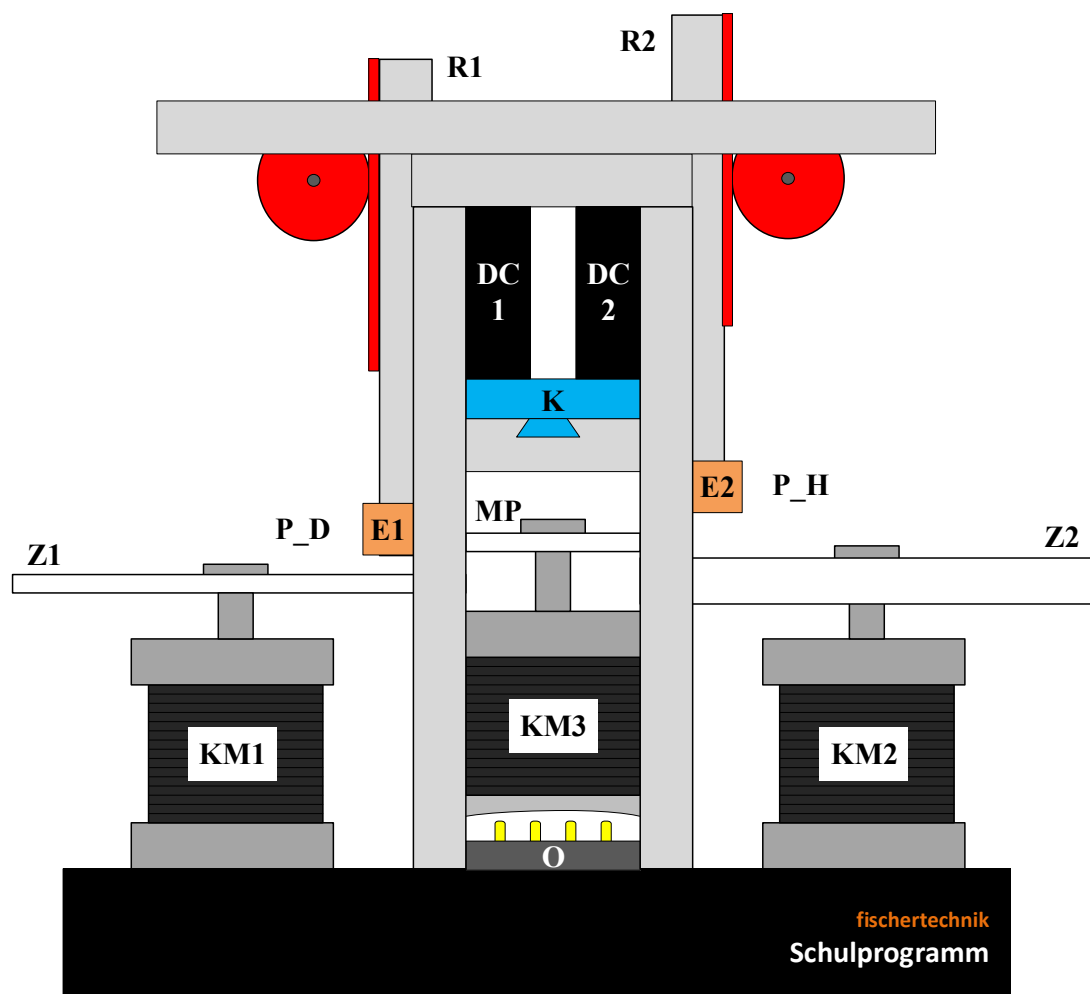


Obrázek 2.12 Blokové schéma řízení třídící linky

2.2 Návrh laboratorního modelu

Pojmem třídící linka (spíše však kontrolní či inspekční) bývá v průmyslu označováno pracoviště, které vykonává kontrolu objektů a rozhoduje o jejich kvalitě. Někdy bývá pojem třídící linka chápán jako linka pro třídění odpadu.

Pracoviště třídící linky se skládá z několika základních částí. První částí je dopravník, kterým se dané díly transportují z předcházející operace či ze zásobníku dílů k inspekci. V tomto případě (Obrázek 2.13) je tato část reprezentována Z1. Následuje oblast pro inspekci, která je vykonávána buď pracovníkem nebo jako v tomto případě pomocí strojového vidění. Posledním krokem je umístění součástky do příslušného zásobníku (Z2) dle toho, jestli kontrole vyhověl, či nikoli. Transport mezi těmito částmi se vykonává pomocí různých jednoúčelových ramen nebo průmyslových robotů. Toto je v našem případě realizováno pomocí ramen R1, R2 a manipulační plošiny MP.



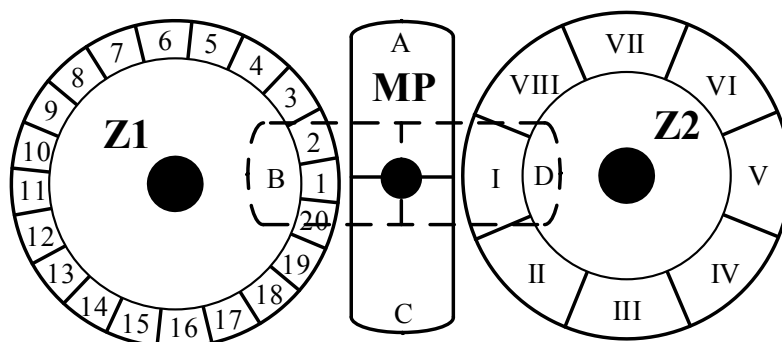
Obrázek 2.13 Schematické zobrazení technologie třídící linky

Legenda k schématickému vyobrazení linky (Obrázek 2.13):

DC1, DC2	stejnoseměrné pohony pro manipulaci s vertikálními rameny
E1, E2	efektory pro manipulaci s tříděnými součástkami
K	kamera pro snímání obrazu zkoumaného objektu
KM1	krokový motorek 1 se zásobníkem Z1 pro součástky k inspekci
KM2	krokový motorek 2 se zásobníkem Z2 roztříděných součástek
KM3	krokový motorek 3 s plošinou MP pro manipulaci součástky ze zásobníku Z1 do oblasti snímání kamerou a následné manipulaci do zásobníku Z2
MP	manipulační plošina
P_H	horní poloha ramene – bezpečná rotace všech zásobníků, nakládání a vykládání součástky ze MP
P_D	dolní poloha ramene – nakládání a vykládání součástky ze Z1 a Z2
R1, R2	ramena pro manipulaci
Z1	zásobník se součástkami ke kontrole
Z2	zásobník pro roztříděné součástky

2.3 Princip činnosti třídící linky

V prvním kroku se provede inicializace celé soustavy, kdy se jednotlivá ramena a zásobníky nastaví do počátečních poloh. Operace začíná tím, že rameno R1 sjede do pozice P_D, efektor E1 naloží ze zásobníku Z1 z pozice 1 zkoumaný objekt. Následně rameno R1 vyjede do pozice P_H a krokový motorek KM3 otočí manipulační plošinu MP do polohy B. Efektor E1 uvolní náklad.



Obrázek 2.14 Zobrazení jednotlivých poloh zásobníků

Poté se MP otočí do pozice C, kde dochází k vyfocení, zkoumaného objektu pomocí kamery K a následnému zpracování obrazu v PC. Dle výsledku analýzy obrazu PLC rozhodne, do které pozice (I, II, ... VIII) zásobníku Z2 se má součástka přesunout.

Následuje naložení objektu efektozem E2, MP se vrátí do výchozí pozice A a zásobník Z2 se natočí do pozice určené řídicím systémem. Poté dochází k uvolnění zkoumaného objektu efektozem E2.

Následně se celý cyklus opakuje, dokud se neroztřídí všechny součástky z prvního zásobníku, či není proces ukončen obsluhou, poruchou nebo jinou událostí. Tento princip je také znázorněn na vývojovém diagramu (Obrázek 3.18).

2.4 Komponenty třídící linky

Pro realizaci byly zvoleny běžně dostupné komponenty s ohledem na co možná nejvyšší modularitu a univerzálnost pro další použití.

Krokový motor MICROCON SX17-0804 [15]

Parametry

Statický moment	0,4 Nm
Jmenovitý proud	sériové 0,85 A / paralelní 1,7 A
Indukčnost	sériové 12,8 mH / paralelní 3,2 mH
Odpor	sériové 6 Ω / paralelní 1,5 Ω
Hmotnost	0,24 kg
Velikost kroku	1,8 °

Krokový motor SANYO – SANMOTION F-KM-103H5210-5140 [4]

Parametry

Statický moment	0,25 Nm
Jmenovitý proud	0,5 A na fázi
Indukčnost	23,4 mH na fázi
Odpor	13,4 Ω na fázi
Hmotnost	0,23 kg
Velikost kroku	1,8 °

Stavebnice FISHERTECHNIK

Jedná se o modulární stavebnici, která obsahuje různě velké konstrukční prvky, od malých kostek až po delší nosníky. Také je vybavena množstvím doplňků, jako jsou držáky pro uchycení prvků a drátů, ozubené hřebeny a kola, převodovky apod.

DC motor FISHERTECHNIK

Stejnoseměrný motorek je kompatibilní s převodovkami a nosníky, proto byl využit v této úloze. K motorku již není na internetu dohledatelná dokumentace, proto jsou parametry získány pomocí měření.

<i>Parametry</i>	6 VDC	0,1 A
------------------	-------	-------

Cívka FISHERTECHNIK

Původně se jednalo o jednu cívku s dvěma jádry, která byla rozdělena na dvě jedno jádrové. Výhodou je opět mechanická kompatibilita s celou stavebnicí. K cívce opět nebyla nalezena žádná dokumentace ani na stránkách výrobce, proto jsou parametry získány pomocí měření.

<i>Parametry</i>	9 VDC	0,3 A
------------------	-------	-------

Dvoupolohový spínač FISHERTECHNIK

Tento spínač je možno uchytit jednoduše v různých polohách a snadno tak docílit správné funkce, je využíván jako spínací i rozpínací kontakt.

Webkamera Genius iSlim 300X

Pro tuto aplikaci je dostačující běžná web kamera. [5]

Parametry

Rozlišení	3200 x 2400, 8MP
Video tok	320 x 240, 640 x 480
Snímkování	30 snímků/s
Grafický čip	VGA CMOS
Rozhraní	USB 1.1
Napájení	5 VDC; 0,05mA

Moduly pro výkonové zesílení

K tomu abychom digitální signál o stavech 0 a 1 převedli na pohyb jednotlivých částí, je potřeba tento signál výkonově zesílit. Za tímto účelem byly navrženy čtyři různé desky plošných spojů. Varianta více dílčích desek byla preferována před tvorbou jedné komplexní. V průběhu vývoje a testování se toto ukázalo jako dobré rozhodnutí, protože bylo potřeba některé desky poupravit nebo vyrobit znovu. Podrobný popis funkce jednotlivých desek, jejich schéma i návod na propojení je uveden v kapitole 4.1.

Modul pro převod napájecího napětí a spínání efektorů a osvětlení

Tato deska (Deska 1) je určena pro převod společného napájecího napětí na napětí potřebné pro stejnosměrné motorky DC1 a DC2 na desce 2. Také jsou zde obvody pro spínání cívek E1 a E2 i osvětlení.

Modul pro řízení stejnosměrných motorků

Z desky 1 je na tuto desku (Deska 2) přivedeno napájecí napětí pro motorky DC1 a DC2. Jednotlivé směry otáčení jsou řízeny pomocí H-můstku.

Modul s proudovým omezením, demultiplexování krokových motorků, rotací fází

Tato deska (Deska 3) obsahuje obvod pro proudové omezení. Je zde realizována část pro spínání napájení jednotlivých motorků KM1, KM2, KM3 a také spínání jednotlivých fází pro KM3.

Modul pro převod napětí s a spínání fází krokových motorků

Touto deskou (Deska 4) opět provádíme převod společného napájecího napětí na napětí potřebné pro krokové motorky přiváděné na desku 3. Na tuto desku z desky 3 jsou přiváděna napájecí napětí pro KM1 a KM2. Také je zde část pro spínání jednotlivých fází motorků KM1, KM2 a to pro každý samostatně.

3 Software

V této kapitole je uveden přehled použitého SW s jeho základní charakteristikou a popisem. Také jsou uvedeny krátké příklady algoritmů a naprogramovaných komponent pro tuto úlohu.

3.1 Simulační prostředí MATLAB Simulink

Simulink je vývojové prostředí blokových schémat pro simulaci a návrh založený na matematickém modelu. Podporuje vývoj na systémové úrovni, simulace, automatické generování kódu, kontinuální testování a verifikaci vestavěných systémů. Simulink poskytuje grafický editor, přizpůsobitelné knihovny bloků a nástroje řešící modelování a simulaci dynamických systémů. Je integrovaný do MATLABu, což umožňuje začlenit algoritmy z MATLABu do modelů v Simulinku a export i import výsledků mezi oběma programy. [12]

3.1.1 Image Acquisition Toolbox

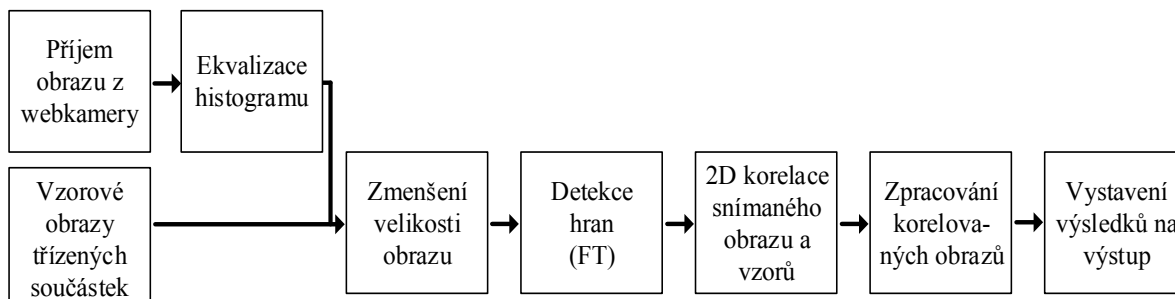
Umožňuje přenášet snímky a videa z kamery přímo do prostředí MATLAB Simulink. Umožňuje automatickou detekci HW a jeho následnou konfiguraci. Přináší možnost zpracovávat obraz ve smyčce, či synchronizaci několika zařízení. Podporuje HW mnoha dodavatelů i různých průmyslových standardů, můžeme použít levnou web kameru, ale i vědecké či průmyslové hi-tech zařízení, jako jsou kamery do speciálních podmínek nebo vysokorychlostní kamery. [9]

3.1.2 Computer Vision System Toolbox

Poskytuje algoritmy a nástroje pro návrh a simulaci systémů počítačového vidění a zpracování obrazu. Toolbox obsahuje algoritmy pro detekci objektů, sledování objektů, stereovidění, zpracování obrazu a videa. Je vhodný pro rychlý návrh embedded systémů, tento toolbox totiž podporuje generování kódu v jazyce C. [8]

3.2 Zpracování obrazu v programu MATLAB Simulink

Pro zpracování obrazu jsem využil komponent z Computer Vision System Toolboxu v programu MATLAB Simulink. Postup zpracování je uveden níže (Obrázek 3.15).



Obrázek 3.15 Postup při zpracování obrazu pomocí MATLAB Simulink

Nejprve je načten obraz z kamery (Obrázek 3.16 vlevo), pro lepší kontrast je použita ekvalizace histogramu (Obrázek 3.16 uprostřed). Následovalo zmenšení velikosti snímaného obrazu i vzorů na 12% původní velikosti. Tato operace přináší významné zrychlení ve zpracování obrazu pomocí PC. Poté byla provedena detekce hran (Obrázek 3.16 vpravo), která je realizována převedením do frekvenčního spektra pomocí FFT, aplikací HP frekvenčního filtru a zpětné FFT.



Obrázek 3.16 Originální obraz z kamery (vlevo), po aplikaci ekvalizace histogramu (uprostřed), obraz po aplikování funkce detekce hran (vpravo)

Poslední komponentou z toolboxu byla 2D korelace a to vždy snímaného obrazu a každého vzoru. Následovala mnou navržená funkce pro hledání maxima v každém korelovaném obraze (Obrázek 3.17). Poté proběhlo vzájemné porovnání maxim, dle něhož bylo rozhodnuto, který vzor nejlépe vyhovuje. Posledním krokem bylo vystavení výsledků na výstup.


```

for x = 1:M
    for y = 1:N
        if (Corr1(x,y) > max1)
            max1 = Corr1(x,y);
            m_max1 = y;
            n_max1 = x;
        end;
    end;
end;

```

Obrázek 3.17 Ukázka kódu z MATLABu pro nalezení maxima v matici

3.3 Programovací prostředí Step 7 pro PLC

Step 7 je prostředí firmy Siemens pro programování PLC Simatic S7, nabízející kompletní rozhraní pro tvorbu a testování algoritmů. Jedná se o velice rozšířené a mezi programátory PLC oblíbené prostředí s dlouholetou tradicí.

Program v PLC se skládá ze dvou hlavních částí

Operační systém PLC, který řídí činnost CPU. Má na starosti aktualizaci vstupů a výstupů, volá uživatelský program, spravuje paměť a detekuje chyby.

Uživatelský systém PLC, který je vytvářen programátorem, obsahuje všechny důležité funkce pro řízení daného úkolu. Doba cyklu je závislá na složitosti programu, rychlosti CPU, rychlosti přenosu vstupů a výstupů, komunikaci na MPI, PROFIBUS či přerušení.

Programovací jazyky dle normy IEC 61131–3

Seznam instrukcí	IL	textový jazyk, součástí Step 7
Příčkový diagram	LAD	grafický jazyk, součástí Step 7
Funkční blokové schéma	FBD	grafický jazyk, součástí Step 7
Strukturovaný text	ST	textový jazyk, balíček S7–SCL
Sekvenční funkční graf	SFC	grafický jazyk, balíček S7–GRAPH

Vlastní program se pak vytváří ve zvoleném jazyce s možností kombinace více jazyků a skládá se pomocí níže uvedených prvků:

Organizační bloky OB – rozhraní mezi operačním a uživatelským programem

Funkční bloky FB – logické bloky programované uživatelem s přiřazenou pamětí

Funkce FC – logické bloky programované uživatelem bez přiřazené paměti

Datové bloky DB – datové oblasti obsahující data uživatele (přiřazovány každému FB)

Systémové funkce SFC – přeprogramované funkce

Systémové funkční bloky SFB – přeprogramované funkční bloky

Vstupy výstupy

Digitální vstupy – binární, v programu se značí jako I, datový typ BOOL (např. I124.5)

Digitální výstupy – binární, v programu značeno jako Q, datový typ BOOL

Analogové vstupy – v programu značeny jako PIW, datový typ WORD

Analogové výstupy – v programu označovány jako PQW, datový typ WORD

Základní datové typy

BOOL	1 bit	booleovský text, 0/1
BYTE	8 bit	hexadecimální číslo
WORD	16 bit	binární, hexadecimální číslo
INTEGER	16 bit	decimální číslo se znaménkem
REAL	32 bit	číslo v plovoucí čárce
S5TIME	16 bit	čas v ms, krok 10 ms

Logické instrukce

Kontakty (normally open, normally closed), výstupy, instrukce SET, RESET, detekce náběžné a sestupné hrany, instrukce NOT, klopné obvody.

Logické funkce

Logický součet OR, logický součin AND, kombinované funkce.

Časovače

Impulzní S_PULSE, prodloužený impuls S_PEXT, zpožděné zapnutí S_ODT, zpožděné zapnutí s pamětí S_ODTS, zpožděné vypnutí S_OFFDT.

Čítače

Čítač nahoru a dolů S_CUD, čítač dolů S_CD, čítač nahoru S_CU.

Aritmetické funkce

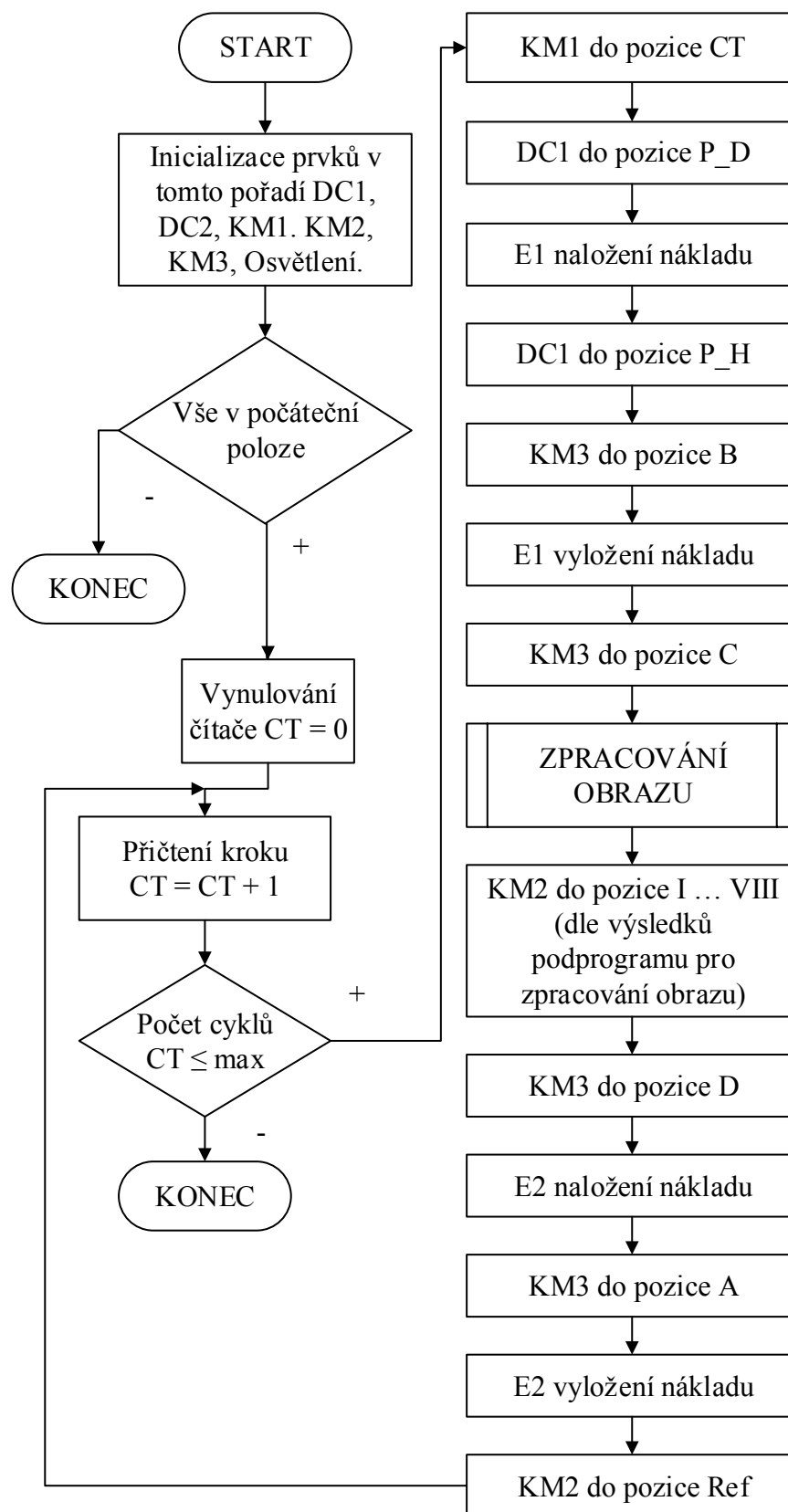
Sčítání ADD (ADD_I, ADD_DI, ADD_R), odečítání SUB, násobení MUL, dělení DIV, goniometrické funkce SIN, COS, TAN, ASIN, ACOS, ATAN

Převodní funkce, instrukce

Převodní funkce INT na DINT → I_DINT, DINT na REAL → DI_REAL, zaokrouhlení ROUND... Instrukce kopírování z buňky do buňky MOVE.

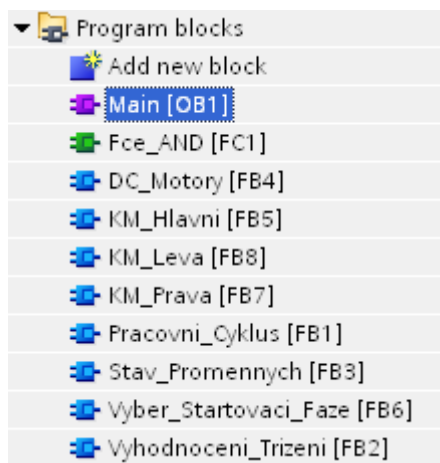
3.4 Popis řídicího algoritmu

Řídicí algoritmus byl realizován v prostředí TIA Portal V11, které je komplexním nástrojem pro HW konfiguraci, programování, simulaci a vizualizaci. Součástí je také výše popsáný program Step7. Na vývojovém diagramu řídicího algoritmu (Obrázek 3.17) je patrné, že postup třídění je shodný s postupem popsáným v kapitole 2.3.



Obrázek 3.18 Vývojový diagram pracovního cyklu

Program se skládá z hlavního bloku OB1, ze kterého se následně volají bloky další. Jedná se o mnou vytvořené bloky (Obrázek 3.19).



Obrázek 3.19 Seznam bloků použitých pro řízení třídící linky

Při programování pracovního cyklu třídící linky (FB1) byl využit programovací jazyk Sequention Function Chart (Obrázek 3.20), který ve své podstatě kopíruje vývojový diagram. Každý krok obsahuje instrukce, které se mají vykonat a také podmínku, za které může program přejít do dalšího kroku.



Obrázek 3.20 FB1 Pracovni_Cyklus– ukázka programování v SFC

V hlavním programovacím bloku OB1 jsou volány všechny ostatní bloky (FB a FC), pomocí bloků je realizováno spínání směru pohybu DC motorků a jejich omezující podmínky (FB4), spínání cívek a osvětlení. Také jsou jimi realizovány podmínky a omezení pro provoz, jako i přehled stavu proměnných FB3. Pomocí bloku FB2 (Obrázek 3.21) je na základě výsledků ze zpracování obrazu vyhodnoceno, do kterého zásobníku se má daný zkoumaný objekt uložit. Tento blok je programován v jazyce ST (Strukturovaný text).

```
IF "Obj1" = True AND "Obj2" = False AND "Obj3" = False AND "Obj4" = False
THEN
    "Pocet_Kroku_Pozadovany" := 37;
    #Probiha_Zprac_Obr := False;

    ...

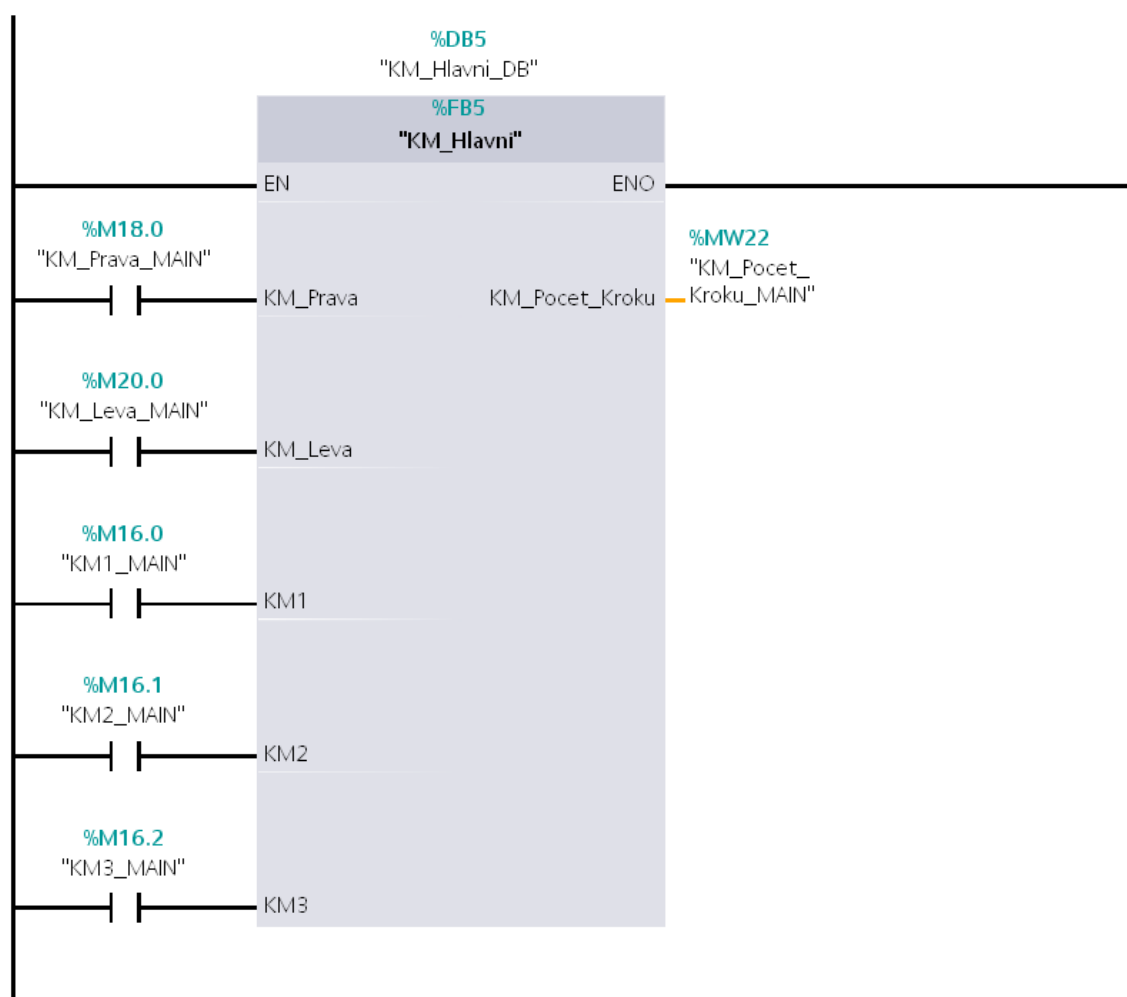
ELSIF "Obj1" = False AND "Obj2" = False AND "Obj3" = False AND "Obj4" =
False THEN
    #Probiha_Zprac_Obr := True;
END_IF;
```

Obrázek 3.21 FB2 Vyhodnoceni_Trizeni – ukázka programování v ST

Druhá část bloků se stará o správné rotace fází pro krokové motorky. Tyto bloky jsou programovány v jazyce kontaktních schémat Ladder Diagram. Blok FB5 (Obrázek 3.22) je hlavním blokem, který dále volá bloky FB7 a FB8. Obsahuje také podmínky pro to, aby se nespínalo více fází najednou, nebo aby se motorek zastavil ve chvíli, kdy dosáhne požadovaného počtu kroků. Stará se také o vypnutí napájení fází v případě, že není požadováno otáčení motorku, snižuje se tímto zatížení elektronických součástek (stabilizátorů, spínacích tranzistorů, rezistorů...) na výkonových modulech (kapitola 4.1).

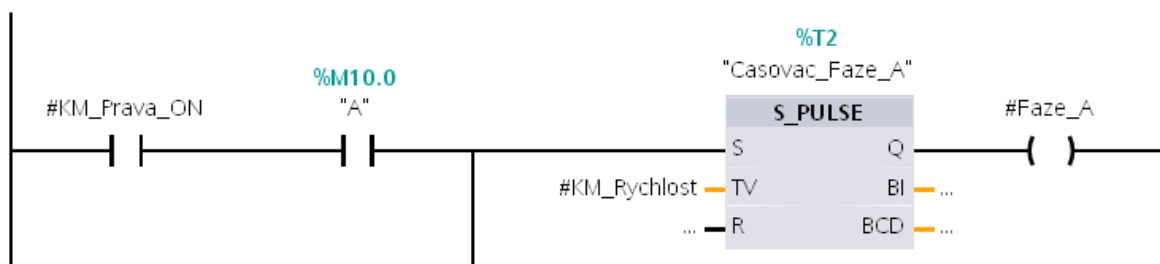
Blok FB6 obsahuje logiku pro ukládání poslední sepnuté fáze jednotlivých KM tak, aby se při další rotaci sepnula správně fáze následující, a aby nedocházelo k chybám (ztráta kroku, špatný směr otáčení...). Vzhledem k tomu, že jediná informace o poloze motorku je dvoupolohový spínač, pro inicializační polohu potřebujeme, aby nedocházelo ke ztrátě kroku a motorek se natočil přesně o takový úhel, který požadujeme. Tohoto dosáhneme správným nastavením počtu kroků pro požadovaný úhel, víme totiž, že na jednu otáčku

o 360° potřebují naše KM 200 kroků. Při jednom kroku se tedy provede natočení o úhel 1,8° (kapitola 2.4).



Obrázek 3.22 FB5 KM_Hlavni – ukázka programování v LAD (využití vytvořeného bloku)

Bloky FB7 a FB8 jsou pak bloky pro rotaci fází ve směru otáčení motorku doprava a doleva (Obrázek 3.23). Nejprve je na základě uložených hodnot zjištěno, která fáze byla sepnuta jako poslední a dle toho se nastaví správná fáze, od které bude rotace pokračovat. Poté je realizována samotná rotace a čítání počtu kroků.



Obrázek 3.23 FB7 KM_Prava – spínání fáze A – ukázka programování v LAD (využití předpřipraveného bloku a větvení)

3.5 Přenos dat pomocí OPC komunikace

OPC (OLE for Process Control) je komunikační protokol, vytvářející jednotné komunikační rozhraní mezi HW a SW. Programátoři tak mohou začlenit do svých projektů HW a SW různých výrobců bez ohledu na komunikační rozhraní těchto komponent. Jedinou podmínkou je pouze existence OPC rozhraní na obou stranách, neboli existence příslušného OPC Serveru pro použitý hardware a rozhraní OPC Klient u použitého software.

Komunikační protokol OPC je založen na architektuře Klient – Server. Při tomto uvažujeme dva základní typy programů – OPC Server a OPC Klient (oba programy jsou přitom SW aplikace). [3]

OPC Klient

je SW, přijímající data z OPC Serveru ve formátu OPC a prezentující tato data pro uživatele v podobě vizualizace, grafů, reportů apod.

OPC Server

je SW, komunikující s připojeným zařízením jeho komunikačním protokolem (např. MPI), získaná data pak převádí do příslušného formátu a poskytuje je nadřazeným aplikacím ve formátu OPC.

3.5.1 MATLAB OPC Toolbox

OPC Toolbox poskytuje připojení k OPC serverům, které umožňují přístup k aktuálním i historickým datům přímo z MATLABu a Simulinku. Umožňuje číst, psát a zaznamenávat data z OPC zařízení jako jsou řídicí a kontrolní systémy. [13]

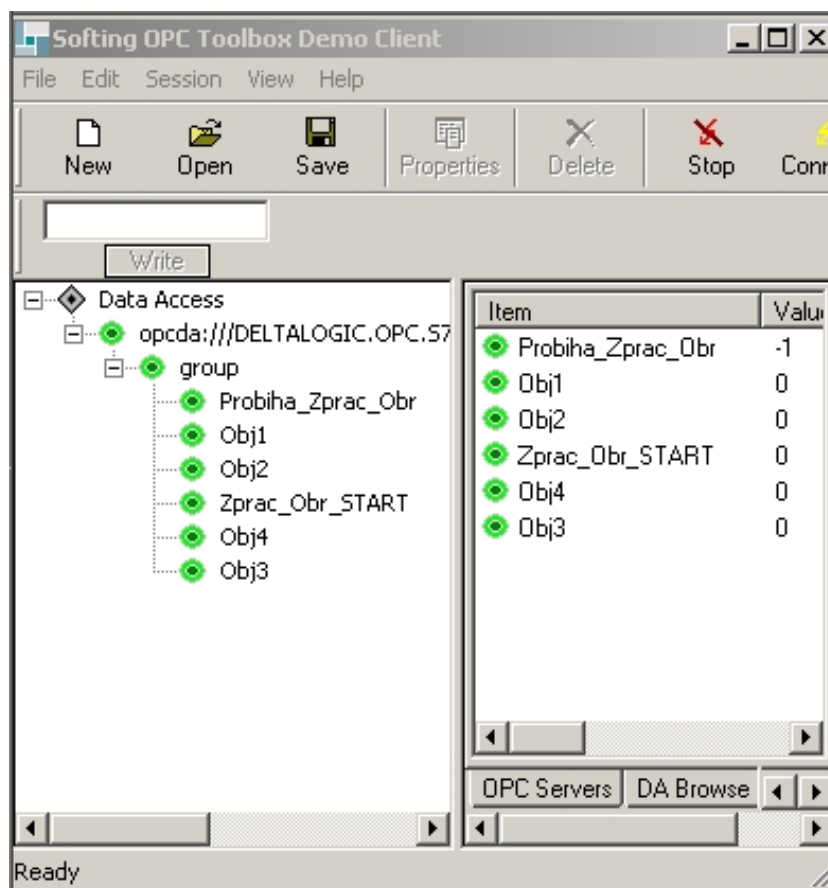
3.5.2 Realizace OPC komunikace

Komunikace mezi PC a PLC je realizována pomocí programátoru, kterého také využíváme pro OPC komunikaci. OPC Server je tedy nastaven stejně jako komunikace pro PLC v TIA. Definice proměnných je provedena přes specificky psaný textový soubor OPC_Tridici_Linka.txt (Obrázek 3.24).


```
# Alias Name Syntax Item      Kommentar
inp1 m5.7 Pokusna promenna IN1
outp1 q125.7 Pokusna promenna OUT1
Obj1 m18.0 Objekt c. 1
Obj2 m18.1 Objekt c. 2
Obj3 m18.2 Objekt c. 3
Obj4 m18.3 Objekt c. 4
Zprac_Obr_START m13.6 Zahajeni zpracovani obrazu
Probiha_Zprac_Obr m18.5 Probiha zpracovani obrazu
```

Obrázek 3.24 Kód v textovém souboru definující proměnné pro OPC

Aktuální stav proměnných můžeme sledovat přes OPC Toolbox Demo Client (Obrázek 3.25), který je zdarma a na 90 minut nám zprostředkuje komunikaci, poté je třeba jej restartovat.



Obrázek 3.25 Online zobrazení proměnných v OPC komunikaci

Na straně MATLABu je komunikace realizována pomocí OPC Toolboxu. Blokem OPC Configuration je nastaveno připojení na server. Bloky OPC Read a OPC Write slouží ke čtení a zápisu proměnných přes server do PLC.

4 Hardware

V této kapitole jsou podrobněji popsány desky plošných spojů, jedná se tak o doplnění kapitoly 2.4. Také je zde zdokumentována finální podoba realizovaného laboratorního modelu.

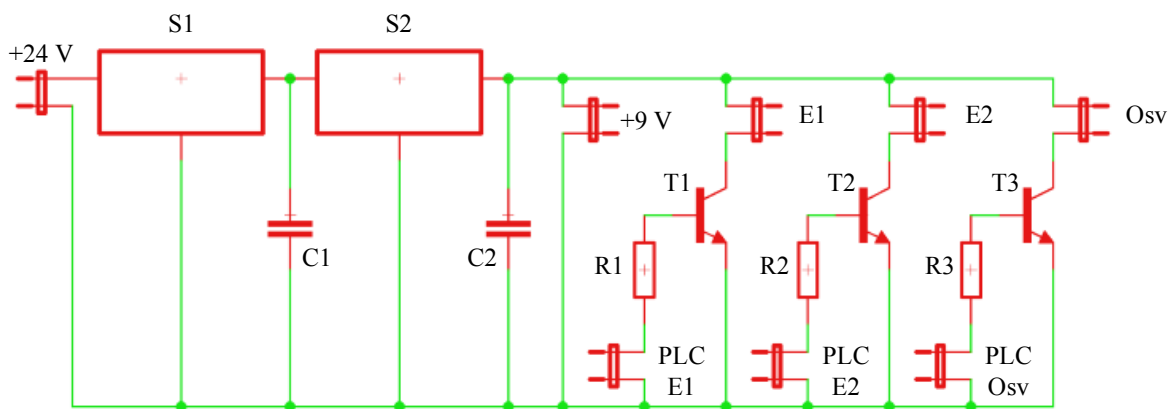
4.1 Výkonové moduly pro třídící linku

V této kapitole je popsána funkce jednotlivých desek, které byly vytvořeny pro výkonové zesílení digitálních signálů z PLC a pro převod napětí ze společného napájecího napětí na napětí potřebné pro jednotlivé moduly. Uvedena jsou principiální schémata.

4.1.1 Modul pro převod napájecího napětí a spínání efektorů a osvětlení

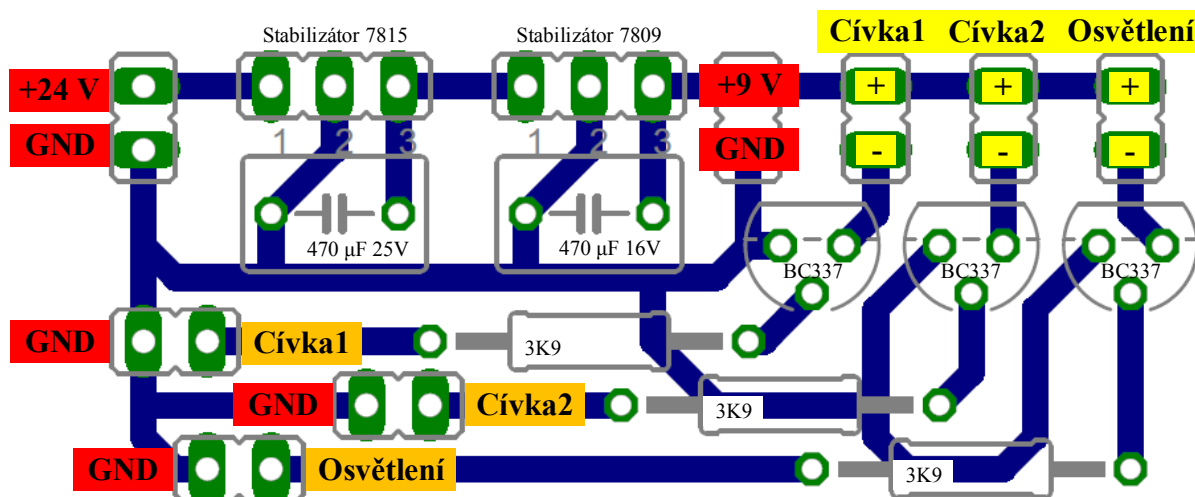
Tato deska (Deska 1) je určena pro převod společného napájecího napětí 24 VDC pomocí stabilizátoru 7815 na 15 VDC a následně stabilizátorem 7809 na 9 VDC. Oba stabilizátory jsou osazeny chladičem, zatěžovány až 1 A a dochází tedy k velkým výkonovým ztrátám a tudíž zahřívání. Na výstupy obou stabilizátorů jsou vůči zemi připojeny elektrolytické kondenzátory o hodnotě 470 μ F a příslušném napěťovém rozsahu.

Na prvním výstupu +9 V je připojena deska 2, slouží tedy k napájení stejnosměrných motorků DC1 a DC2. Následují konektory pro připojení cívek E1 (Cívka1) a E2 (Cívka2) i Osv (Osvětlení). Jednotlivé části jsou spínány pomocí tranzistorů s otevřeným kolektorem, do jejichž báze přivedeme přes odpor (R1, R2, R3) digitální signál z řídicího systému, tedy PLC a to na konektory PLC E1, PLC E2, PLC Osv. Na kolektor je připojeno napájecí napětí 9 VDC a emitor je připojen k zemi. Při přivedení signálu do báze dochází k otevření tranzistoru a tedy sepnutí prvku.



Obrázek 4.26 Elektronické schéma desky 1

Ke každé desce je vytvořeno osazovací a zapojovací schéma (Obrázek 4.27) s barevným rozlišením jednotlivých portů pro lepší orientaci (žlutá – konektor pro připojení jednotlivých zařízení (motorek, cívka...), oranžová – konektor pro přivedení řídicích signálů z PLC, červená – konektory pro napájecí a transformované napětí). Zde je uveden pouze příklad pro desku 1, schémata ostatních desek jsou součástí příloh.



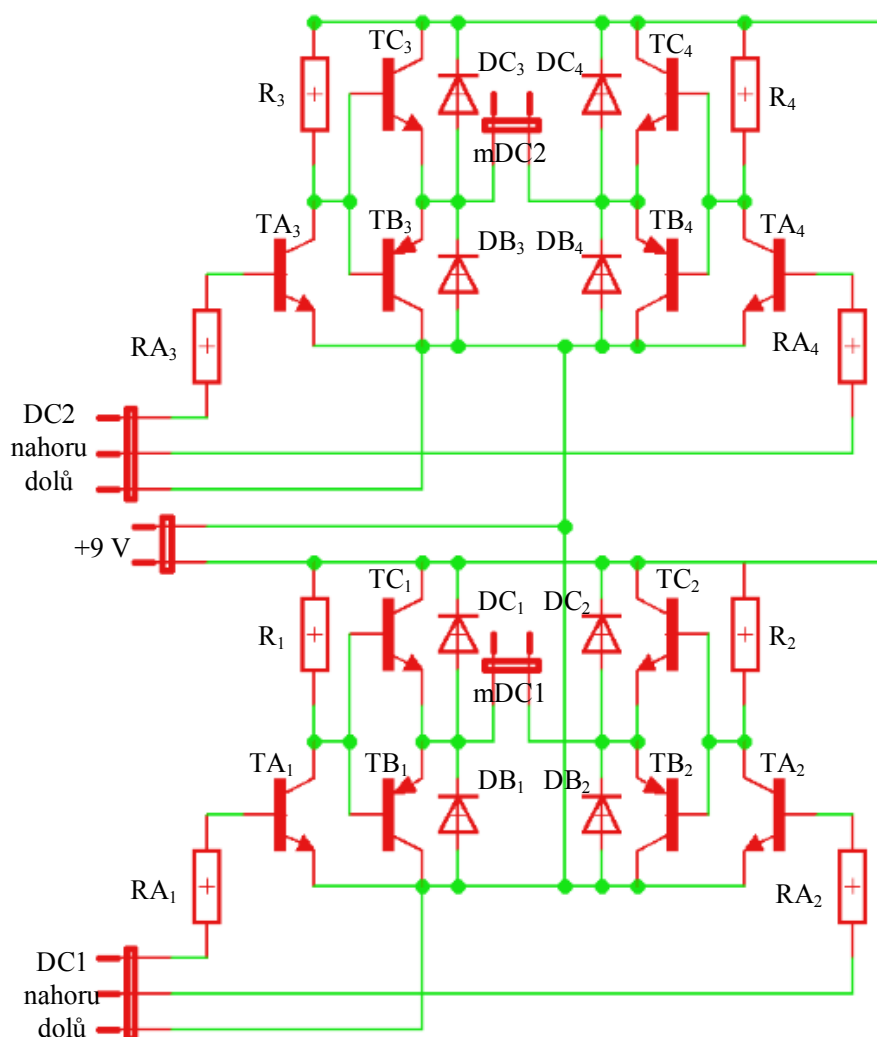
Obrázek 4.27 Schéma reálné DPS s osazovacími a zapojovacími informacemi pro desku 1

4.1.2 Modul pro řízení stejnosměrných motorků

Z desky 1 je přivedeno na tuto desku (Deska 2) napájecí napětí 9 VDC pro motorky DC1 a DC2. Při spínání je z řídicího systému (PLC) přiveden signál na konektory mDC1 nahoru/dolů a mDC2 nahoru/dolů.

Po přivedení signálu log 1 na konektor, dojde k uzemnění NPN tranzistoru TA, tudíž se mezi tranzistory TB a TC vyskytne log 0. Tranzistor TB je typu PNP, takže při přivedení signálu log 0 do báze je otevřený. Tranzistor TC je typu NPN, a proto se přivedením log 0 do báze uzavře.

Princip pro DC1 je takový, že na TA₁ přivedu log 0 a na TA₂ log 1. Mezi TB₁ a TC₁ je log 0, mezi TB₂ a TC₂ je log 1. Dojde tedy k sepnutí TB₁ a TC₂, uzavření TC₁ a TB₂. Proud tedy teče z napájecí větve přes TC₂ do motorku a přes TB₁ je uzemněn, motorek se točí jedním směrem. Pro opačný směr otáčení zaměníme logickou hodnotu signálů z PLC, tedy log 0 na TA₁ a log 1 na TA₂. Pro motorek DC2 je princip obdobný.



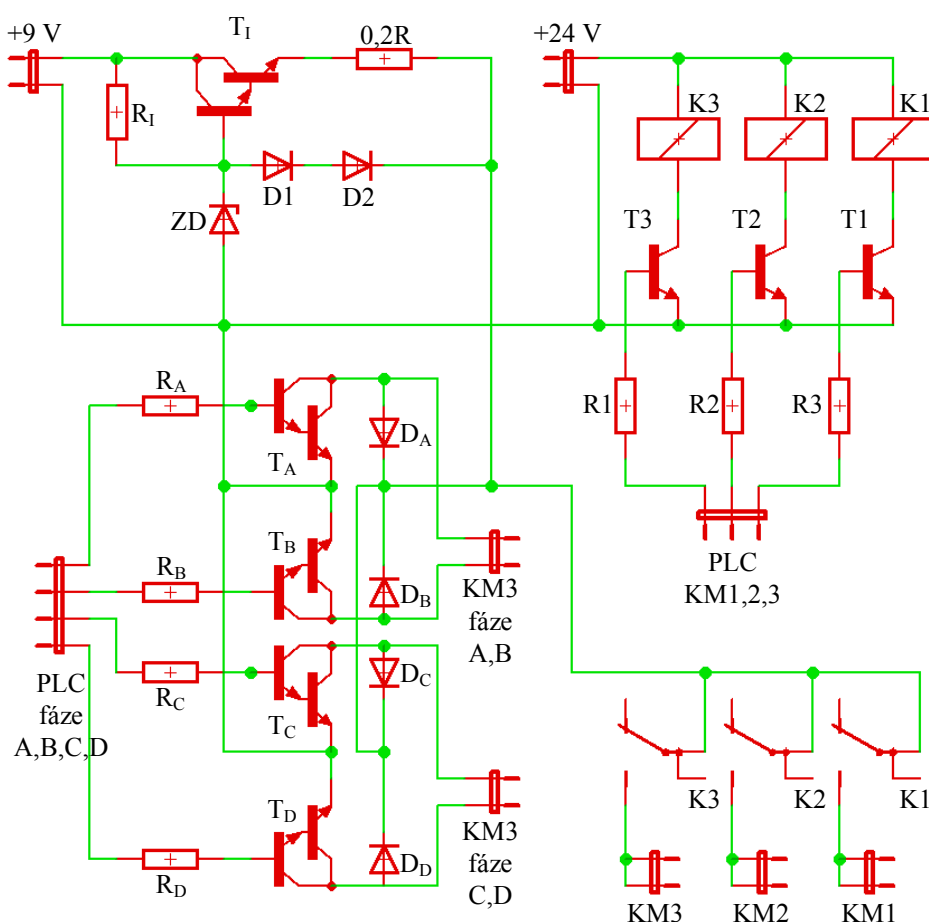
Obrázek 4.28 Elektronické schéma desky 2

4.1.3 Modul s proud. omezením, demultiplexací krokových motorků, rotací fází

Tato deska (Deska 3) je určena ke spínání napájení jednotlivých krokových motorků KM1, KM2, KM3. Z desky 4 je přivedeno napětí 9 VDC a pomocí výkonového tranzistoru T_1 je realizován proudový omezovač. Na křemíkových diodách (D1, D2) se mezi výstupní svorkou a tranzistorem vytvářejí konstantní předpětí. Při normálním provozu dochází k úbytku pouze malého napětí, které funkci obvodu neovlivňuje. Jakmile se proud obvodem zvyšuje, stoupá i úbytek napětí na snímacím rezistoru $0,2R$. Když úbytek napětí dosáhne hodnoty přechodu dvou diod, začne jimi protékat proud, omezující napětí na bázi výkonového tranzistoru. V důsledku toho dojde rovněž k omezení napětí na polovodičovém přechodu báze–emitor tranzistoru T_1 , který se začne zavírat a omezovat výstupní proud.

Pomocí relé spínaných 24 VDC z PLC je realizováno přivedení napájecího napětí na jednotlivé KM. Spínání relé je realizováno pomocí tranzistorů s otevřeným kolektorem, do jejichž báze je přes odpor (R_A , R_B , ...) připojen signál z PLC (konektor PLC KM1,2,3), na kolektoru je připojena cívka relé a emitor je uzemněn. Při protékání proudu cívkou dojde k mechanickému sepnutí kontaktu K1, K2, K3 a přivedení napájecího napětí na konektory KM1, KM2, KM3.

Princip spínání jednotlivých fází krokového motorku je stejný jako na desce 4 proto je vysvětlen níže.



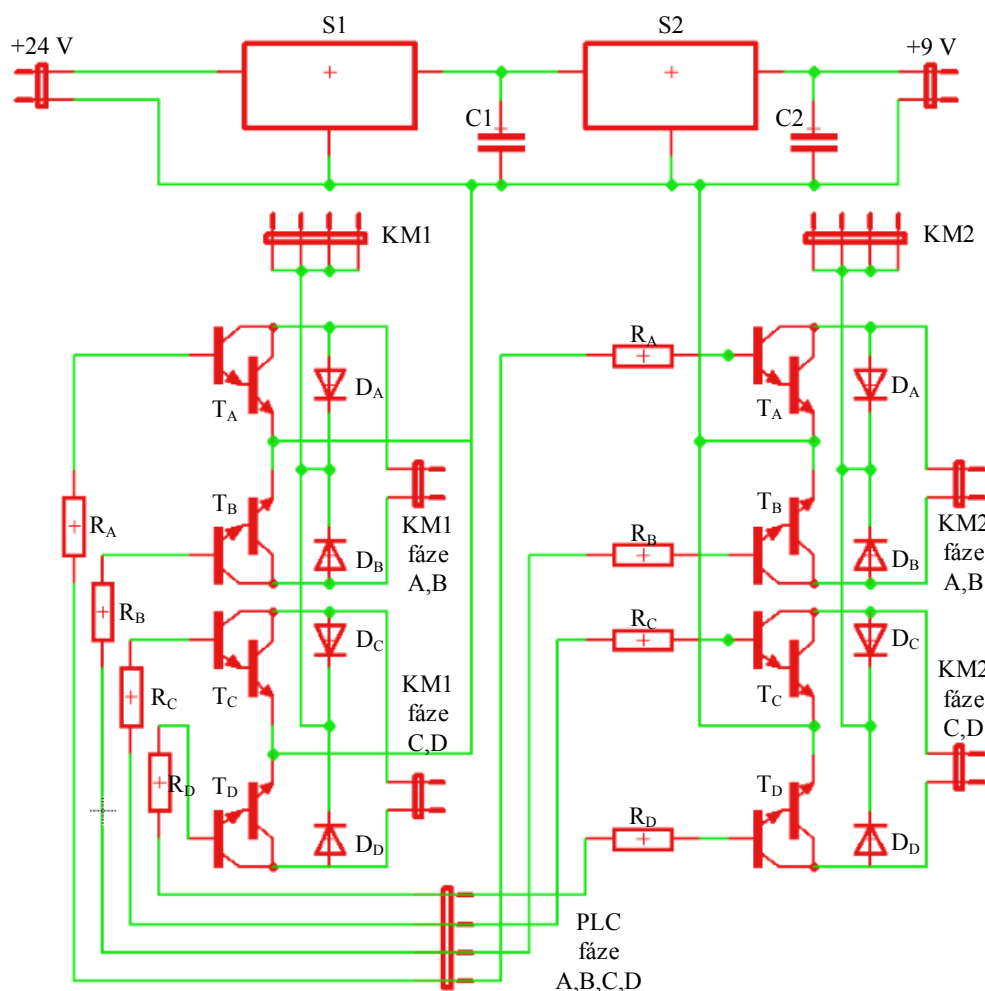
Obrázek 4.29 Elektronické schéma desky 3

4.1.4 Modul pro převod napětí s a spínání fází krokových motorků

Na této desce (Deska 4) je realizován převod společného napájecího napětí 24 VDC na 9 VDC (princip viz deska 1) pro napájení desky 3. Princip spínání bude popsán pro KM1, stejně ale platí pro KM2 na této desce i pro KM3 na desce 3.

Na konektor KM1 je přivedeno napájecí napětí z desky 3. Jednotlivé fáze jsou spínány z PLC pomocí konektoru PLC fáze A, B, C, D. Přes jednotlivá vinutí KM je napájecí

napětí přivedeno na konektory KM1 fáze A, B a KM1 fáze C, D, přes které dochází při sepnutí tranzistorů k uzemnění a tedy sepnutí fáze, tou začne protékat proud a vytváří se mechanický moment daný sepnutím fáze KM. Digitální signál vstupu je přiveden přes odpory (R_A , R_B , ...) do bází výkonových tranzistorů T_A , T_B , T_C , T_D , které jsou opět připojeny jako tranzistory s otevřeným kolektorem.



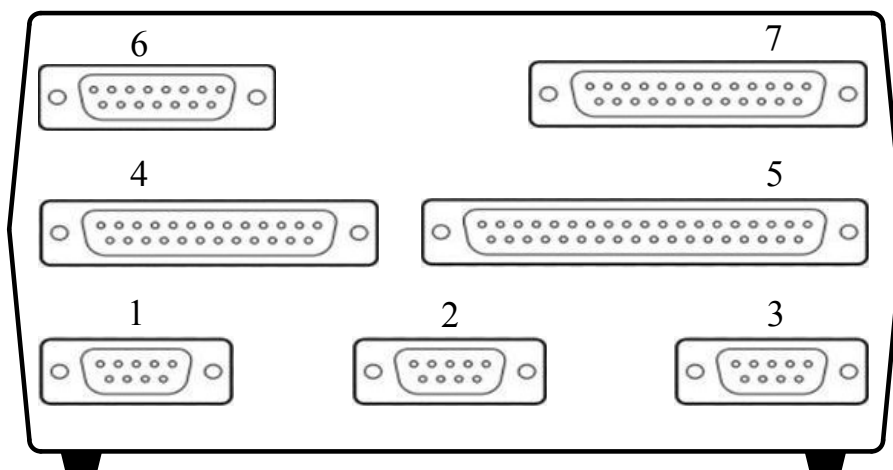
Obrázek 4.30 Elektronické schéma desky 4

Při vývoji desek bylo řešeno na mnoho komplikací, kdy mezi ideovým schématem a funkční deskou bylo potřeba realizovat sérií zapojení a měření v nepájivém poli pro prvotní otestování správné funkce. Poté byly vytvořeny návrhy desek plošných spojů v programu Eagle, následovala jejich realizace, testování a nasazení do úlohy.

Pro každou tuto desku existuje profesionální alternativa dostupná jako hotový výrobek. Zvolili jsme však s mým vedoucím tuto cestu, hlavně pro vysokou edukativní hodnotu. Tento způsob mi poskytl možnost lepšího pochopení postupu vývoje elektroniky při praktické realizaci.

4.2 Rozhraní výkonového modulu

Propojení mezi boxem obsahujícím desky plošných spojů a okolím je realizováno pomocí konektorů CANON s 9, 15, 25 a 37 piny.



Obrázek 4.31 Schéma zapojení konektorů CANON

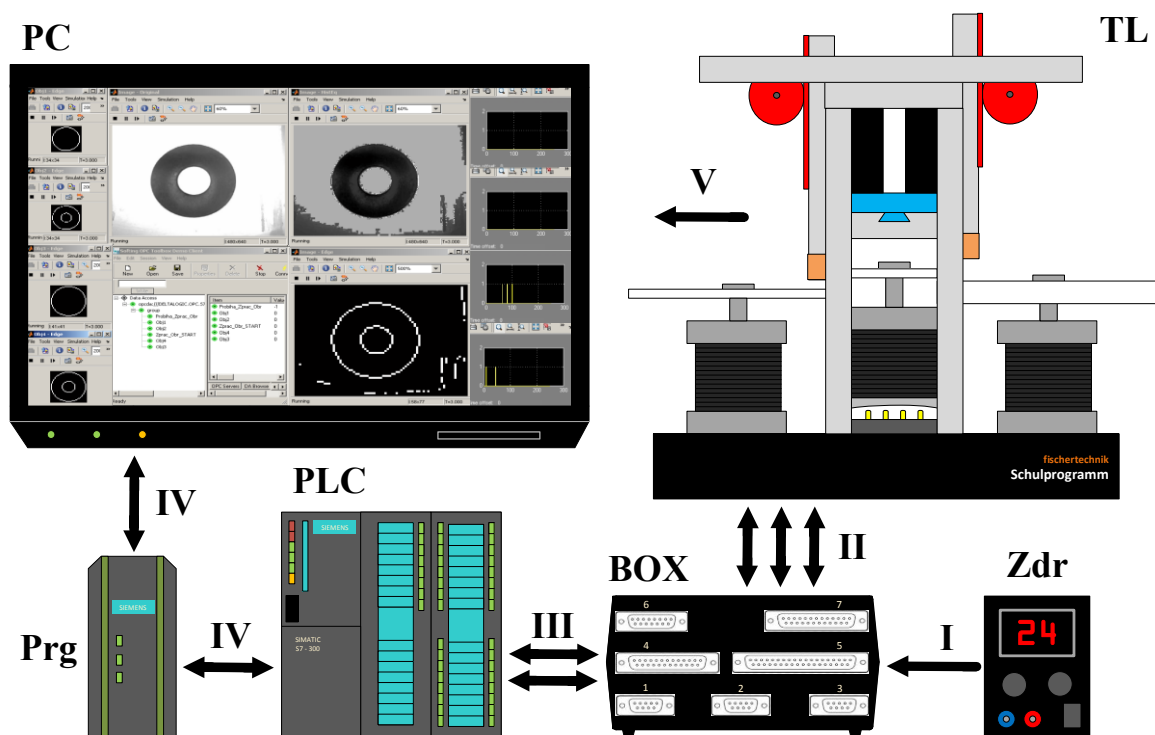
Podrobný popis zapojení jednotlivých konektorů je obsahem příslušné přílohy, zde uvádím jen příklad popisu pro konektor číslo 1.

Tabulka 4.1 Zapojení konektoru číslo 1

Samice	Číslo pinu	Samec	
KM1 +	1	+9 V	oranžový
KM1 +	2	+9 V	hnědý
KM1 +	3	+9 V	žlutý
KM1 +	4	+9 V	šedý
–	5	–	–
KM1 fáze A	6	fáze A	bílý
KM1 fáze B	7	fáze B	zelený
KM1 fáze C	8	fáze C	modrý
Km1 fáze D	9	fáze D	červený

4.3 Schéma realizované úlohy

Následující schéma znázorňuje propojení jednotlivých komponent laboratorní úlohy. Je uveden popis schématu a vysvětlení jednotlivých signálů. Podrobnější popis jednotlivých komponent včetně propojení je uveden v přílohách této práce.



Obrázek 4.32 Schéma úlohy a vzájemné komunikace

Legenda ke schématu (Obrázek 4.32):

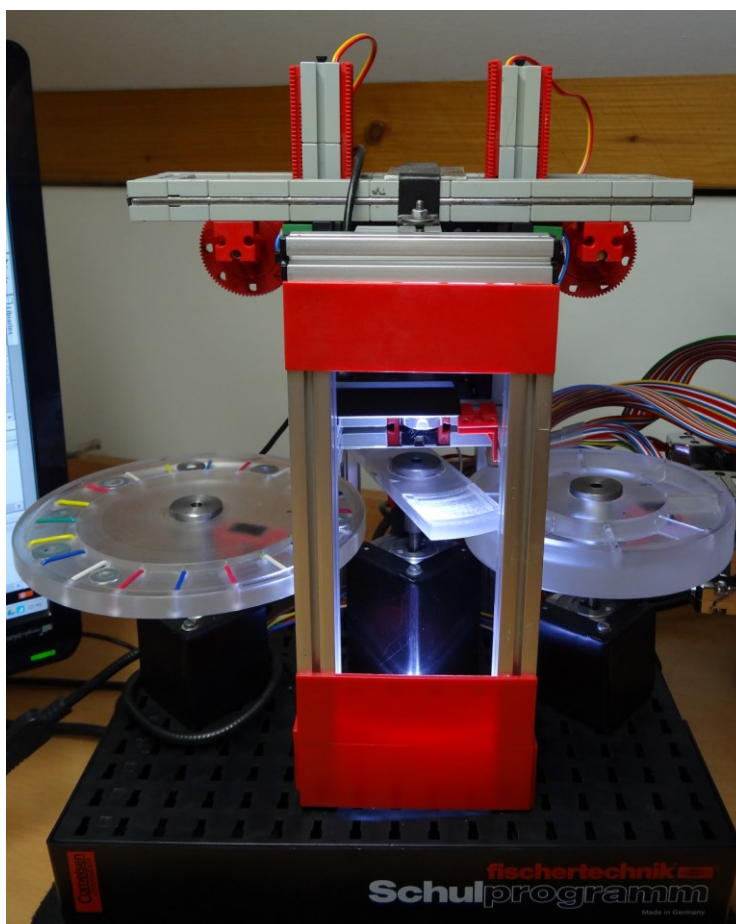
BOX	obsahuje DPS pro výkonové zesílení signálů z PLC, propojení s PLC a TL pomocí konektorů CANON
Prg	programátor pro PLC
PC	běžné PC vybavené příslušným SW pro programování PLC a zpracování obrazu
PLC	programovatelný logický automat
TL	pracoviště třídící linky
Zdr	laboratorní zdroj

Význam signálů

- I napájení celého systému z laboratorního zdroje Z
- II výkonově zesílené výstupní signály z PLC pro řízení motorků a spínání prvků, vstupní signály do PLC z třídící linky
- III digitální vstupní a výstupní signály pro PLC
- IV komunikace mezi PC a PLC při programování a řízení, zajištění přenosu dat z PLC do PC pro OPC komunikaci
- V snímání obraz z kamery je přenášén ke zpracování do PC

4.4 Finální podoba laboratorního modelu

Obrázek 4.33 uvádí finální podobu pracoviště třídící linky. Tato realizace odpovídá schématu uvedenému v kapitole 2.2, kde je také uveden popis jednotlivých prvků.



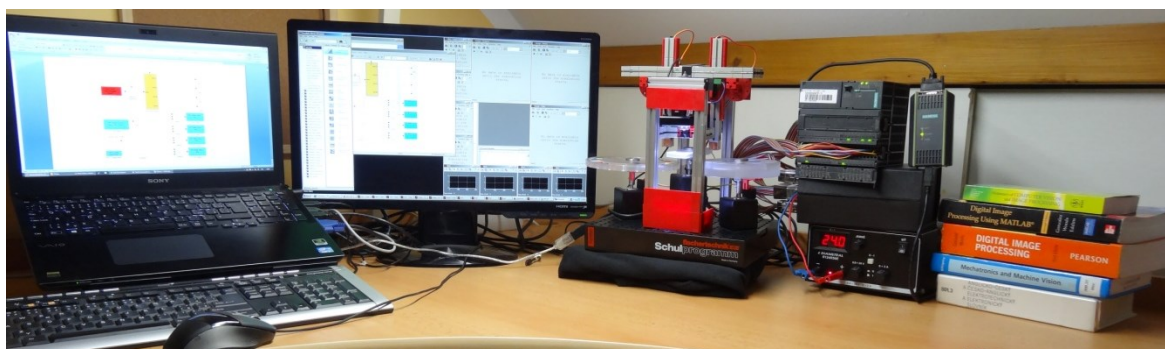
Obrázek 4.33 Laboratorní model třídící linky

Obrázek 4.34 ukazuje řídicí část úlohy. Nejvýše se nachází PLC s programátorem firmy SIEMENS. Uprostřed je pak box, v němž jsou uloženy desky plošných spojů a přes konektory CANON je pak elektronika připojena k PLC, třídící lince a napájení. Napájení je realizováno pomocí laboratorního zdroje.



Obrázek 4.34 PLC, programátor, box a napájení

Poslední obrázek je pak pohledem na kompletní pracoviště třídící linky, vlevo je PC pro zpracování obrazu, uprostřed pak model třídící linky a na pravé straně je PLC, BOX a napájení.



Obrázek 4.35 Celkový pohled na úlohu

5 Závěr

Tato práce se zabývá využitím strojového vidění k rozpoznání polohy a identifikaci objektu. Polohování objektu je realizováno laboratorním modelem třídící linky řízeným pomocí PLC, kdy inspekci provádí SW v PC. V rámci řešení diplomové práce se podařilo vytvořit plně funkční model pracující s dostatečnou přesností a opakovatelností třídění. Výhodou je vysoká modularita, tedy možnost využití jiných řídicích jednotek, modulů pro ovládání motorků i SW pro zpracování obrazu. Práce může být v budoucnu využita jako model ve výuce pro seznámení se s jednotlivými prvky, či jako náplň semestrální práce.

Třídící linka se sestává ze zásobníku dílů k inspekci a zásobníku roztríděných dílů, manipulačních ramen a manipulační plošiny. Jako akční členy jsou použity krokové motorky, stejnosměrné motorky a elektromagnetické cívky ve funkci efektorů.

Pro výkonové zesílení akčních signálů jsou navrženy a vyrobeny čtyři výkonové moduly. Slouží k transformaci jednotného napájecího napětí 24 VDC potřebných pro napájení PLC na 9 VDC, sloužících pro napájení stejnosměrných motorků, cívek a osvětlení. Součástí modulů je také elektronika potřebná pro spínání jednotlivých prvků.

Krokové motorky jsou významnou kapitolou této práce, nebyly totiž využity již hotové moduly a SW pro řízení, ale byly realizovány vlastní algoritmy řízení v PLC. Také byly vyvinuty moduly, které využívají ke spínání jednotlivých fází výkonové tranzistory. Bylo dosaženo spolehlivého řízení bez ztráty kroku s použitím unipolárního čtyřtaktního způsobu ovládání po jedné fázi. Jednotlivé fáze motorků jsou spínány pomocí čtyř digitálních výstupů s PLC, demultiplexování napájecích napětí krokových motorků je realizováno pomocí relé spínaných třemi digitálními výstupy z PLC.

Všechny desky plošných spojů jsou umístěny ve výkonovém modulu, kdy je připojení jednotlivých součástí realizováno pomocí konektorů CANON. Zpětná vazba je získávána z dvupolohových spínačů, sloužících jako kontrolní body polohy krokových motorků při inicializaci a jako koncové spínače manipulačních ramen.

Řídicím systémem je kompaktní PLC firmy SIEMENS. PLC se stará o třídící cyklus z hlediska ovládání mechanických částí linky. Tento algoritmus byl realizován v programu Step7 pomocí jednoho funkčního bloku. Další dva bloky zajišťují podmínky pro spínání stejnosměrných motorků, cívek a osvětlení. V jednom bloku se vyhodnocují výsledky zpracování obrazu a v posledních čtyřech blocích je zajištěno správné spínání jednotlivých

fází pro rotaci krokových motorků. Bloky byly vytvořeny v různých programovacích jazycích s ohledem na přehlednost výsledného programu.

Snímání obrazu je realizováno pomocí běžné webkamery a inspekce je prováděna v programu MATLAB Simulink pomocí funkcí Computer Vision System Toolboxu. Veškeré funkce byly nejdříve ověřeny pomocí MATLABu v M-filech na základě matematických rovnic a následně s využitím Image Processing Toolboxu. Samotná inspekce se skládá z předzpracování obrazu (ekvalizace histogramu, změny velikosti a detekce hran), korelace zkoumaného obrazu a vzorů, vyhodnocení výsledků korelace a jejich vystavení na výstup.

Data mezi PLC (požadavek na zahájení zpracování obrazu) a PC (výsledky zpracování) jsou vyměňována pomocí OPC komunikačního protokolu.

Jelikož byl model třídící linky vyvíjen jako laboratorní úloha, je model vyroben tak, aby byl přes univerzální rozhraní (konektory CANON) připojitelný k libovolným jiným komponentám a řídicím systémům. Ve výuce tak může být model využit k práci na dílčích prvcích. Dle mého názoru je ale mnohem lepší variantou rozvíjet model v rámci celosemestrální práce. Za tímto účelem byla také vytvořena podrobná dokumentace uvedená v přílohách čítající přes 70 stran.

Prvkem, který si při budoucím vývoji zaslouží největší pozornost, jsou moduly pro řízení KM, ty bych doporučil nahradit pomocí komerčních modelů pro snazší ovládání. Dále může být PLC SIEMENS nahrazeno produktem jiného výrobce, nebo jiným zařízením jako jsou PC karty či procesory. Ke zpracování obrazu také může být využita komponenta VisionLab v programu Control Web nebo program NI LabView s komponentou Vision/Image Processing. Téměř neomezené jsou možnosti nasazení dalších snímačů a čidel (odporové, IRC, halové sondy...) pro zjišťování polohy jednotlivých prvků.

6 Literatura

- [1] ADAMEC, Z. *Řízení víceosého mechanismu pomocí řídicích systému PLC řady Simatic S7 – 200 a S7 – 300: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2011, 54 s. Vedoucí práce: ŠKŮTA, J.
- [2] FISHER, R. B. *Dictionary of COMPUTER VISION and IMAGE PROCESSING*. 2005. vyd. England: John Wiley & Sons Ltd, 2005. ISBN 978–0–470–01526–1.
- [3] FOXON. *Co je OPC? OPC Server? OPC Klient?*. [online]. [cit. 2013–04–12]. Dostupné z: http://www.foxon.cz/index.php?main_page=faq_info&fcPath=29&faqs_id=91
- [4] GM ELECTRONIC. *Krokové motory > F–KM–103H5210–5140* [online]. 2012 [cit. 2012–10–12]. Dostupné z: [http://www.gme.cz/krokovy-motory/f-km-103h5210–5140–p671–010/](http://www.gme.cz/krokovy-motory/f-km-103h5210-5140-p671-010/)
- [5] GENIUS. *Instant Video WebCam iSlim 300X* [online]. 2012 [cit. 2012–10–12]. Dostupné z: <http://www.geniusnet.com/wSite/ct?xItem=16744&ctNode=159>
- [6] GONZALEZ, R. C., WOODS, R.E., EDDINS, S.L. *The Digital Image Processing Using MATLAB*, Gatesmark Publishing, United States, 2009, 827 s., ISBN 978–0982085400
- [7] HAVLE, Otto. *DesignTech. Strojové vidění, 1. díl* [online]. 2008 [cit. 2013–03–06]. Dostupné z: [http://www.designtech.cz/c/it-reseni/it-reseni/strojove-videni-1–dil.htm](http://www.designtech.cz/c/it-reseni/it-reseni/strojove-videni-1-dil.htm)
- [8] MATHWORKS. *Computer Vision System Toolbox: Design and simulate computer vision and video processing systems* [online]. 2013 [cit. 2013–03–15]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/computer-vision/>
- [9] MATHWORKS. *Image Acquisition Toolbox: Acquire images and video from industry-standard hardware* [online]. 2013 [cit. 2013–03–15]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/imaq/>

- [10] MATHWORKS. *Image Processing Toolbox: Perform image processing, analysis and algorithm development* [online]. 2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/image/>
- [11] MATHWORKS. *Language Fundamentals* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/matlab/index.html#language-fundamentals>
- [12] MATHWORKS. *Matlab: The Language of Technical Computing* [online]. 2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- [13] MATHWORKS. *OPC Toolbox: Read and write data from OPC servers and data historians* [online]. 2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/opc/>
- [14] MATHWORKS. *Simulink: Simulation and Model-Based Modeling* [online]. 2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/simulink/>
- [15] MICROCON. *Přehled produktů* [online]. 2012 [cit. 2012-10-12]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz>
- [16] MORAVSKÉ PŘÍSTROJE. *Programový systém Control Web: Co je Control Web* [online]. 2010 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/cat?id=146&lang=405>
- [17] MORAVSKÉ PŘÍSTROJE. *Strojové vidění VisionLab* [online]. 2012 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/cat?id=146&lang=405>
- [18] RUSNÁK, J. *Návrh kamerového systému s průmyslovým robotem Kuka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela
- [19] SIEMENS. *Automation Technology* [online]. 2013. vyd. [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/en/Pages/automation-technology.aspx>
- [20] SIEMENS. *Sequential Function Chart*. [online]. 2010 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: https://www.automation.siemens.com/mcms/sce/de/fortbildungen/ausbildungsunterlagen/download_ausbildungsunterlagen/p_pcs7/Documents/eP01-07_sequential_function_chart_RC1012.pdf

7 Seznam příloh

Příloha A:	MATLAB – Histogram
Příloha B:	MATLAB – DFT a IDFT
Příloha C:	MATAB – Filtry FFT
Příloha D:	MATLAB Simulink – Zpracování obrazu
Příloha E:	OPC – Nastavení OPC Serveru
Příloha F:	Step7 – Nastavení PLC
Příloha G:	Step7 – Tag Table
Příloha H:	Step7 – Main OB1
Příloha I:	Step7 – Pracovní_Cyklus FB1
Příloha J:	Step7 – Vyhodnocení_Trizeni FB2
Příloha K:	Step7 – Stav_Promenných FB3
Příloha L:	Step7 – DC_Motory FB4
Příloha M:	Step7 – KM_Hlavní FB5
Příloha N:	Step7 – Vyber_Startovací_Faze FB6
Příloha O:	Step7 – KM_Prava FB7
Příloha P:	Step7 – KM_Leva FB8
Příloha Q:	Step7 – Fce_AND FC1
Příloha R:	Desky plošných spojů
Příloha S:	Zapojení konektorů CANON
Příloha T:	3. místo STOČ 2013 Zlín
Příloha U:	Fotodokumentace
Příloha V:	Video